

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19771

研究課題名（和文）大規模実世界時空間データストリーム処理のための高度検索・発見技術の展開

研究課題名（英文）Expansion of efficient search and discovery technology for processing massive data stream in the real world

研究代表者

有村 博紀（Arimura, Hiroki）

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：20222763

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、多様で膨大な実世界時空間ストリームデータに対する高速大規模処理の基盤技術として、複雑なパターンに対する検索・計数・発見技術の研究開発を行なった。研究代表者の有村が高速パターン検索・発見技術の研究開発を、研究分担者のツォイクマンと有村が多重ストリーム処理と知識発見の理論の構築を、連携研究者のジョーダンと有村が大規模並列計算と確率的計算手法の開発を担当し、相互に協力しつつ研究を遂行した。実世界時空間ストリーム処理に対応して、アルゴリズムの高速性と低メモリ性に加え、適応性・文脈性・多重性に焦点を当てて研究し、各テーマの成果をライブラリとして実装し、理論解析、実装評価を並行して進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2020年代に到来すると予測される「1兆センサー社会」に向けて、大量非構造データの効率良い処理は、重要な課題となっている。本研究では、離散構造処理と大規模ストリーム処理技術を融合することで、実応用で求められる複雑な構造パターンに対する検索・発見処理のための超高速アルゴリズムの実現に挑戦し、その構成原理と可能性を明らかにする。これは、多数センサーからの生成と、ネットワーク上の流通とオンライン処理、人工知能技術をもちいた高度知識処理による人間・社会・組織に有用な知識の生成に至る大量非構造データのライフサイクル全体を支える基盤技術の開発につながるものであり、今後の高度情報社会に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In this research, we study efficient methods for search, count, and discovery of complex patterns and rules from multiple, massive, changing, uncertain, unstructured stream data as a basis of large-scale time-space data stream processing in the real world. In this research project, Hiroki Arimura conducted research and take part in R & D of fast pattern search and discovery, Thomas Zeugmann with Arimura studied the theory of multi-stream data processing and knowledge discovery, and Charles Jordan with Arimura devised efficient massively parallel and stochastic search methods for combinatorial structures as patterns. We focus on multiplicity, adaptivity, context-sensitiveness, and low-memory footprint of the algorithms, and built implementations and theoretical and empirical analyses of the devised algorithms as libraries for real world data processing.

研究分野：知能情報学

キーワード：ストリームデータ処理 データマイニング 情報検索 多重性 文脈性 複雑パターン 並列ソルバー
大規模並列列挙

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

ネットワークとセンサー技術の急速な発展により、社会・科学・産業における実世界のさまざまなセンサーやデバイス網 (IoT=「モノのインターネット」) から、多様で膨大な非構造データ (ビッグデータ) が生み出されている。2020年には、毎年1兆個のセンサーが用いられる「1兆センサー社会」(trillion sensors universe) が到来すると予測されている。

これらの大量非構造データの多くは、ネットワーク上を高速に流れる非構造データストリームであり、IoTにおける生成時や流通時に簡単なデータ処理をされ (エッジ・コンピューティング)、データ量と複雑さを減少させながら、最終的にはクラウドに蓄積されて機械学習技術等をもちいた高度知識処理 (人工知能による情報処理) を受けて、人間・社会・組織に有用な知識を生み出す (知識の生成) というライフサイクルをもつ。

その一方で、これらの非構造ストリームデータは、実時間生成され、時間変化する、大量の、非構造的な大量データであり、オフライン処理される通常のビッグデータとは大きく異なる特性をもつ。そのために、従来の情報検索やデータマイニング手法がそのまま適用できず、データ生成と人工知能による高度知識処理の間に大きな間隙が生じているのが現状である。

そのため、データ生成と高度知識処理をつなぐ高速かつ高度な非構造ストリーム処理技術の開発が喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究では、離散構造処理技術と大規模ストリーム処理技術を融合し、実世界時空間ストリームに対する超高速知識処理技術について研究開発する。このため、ビッグデータ処理に関する最新のアルゴリズム理論に基づいて、実応用で求められている複雑な構造パターンのクラスに対する検索・発見処理のタスクに対する超高速アルゴリズムの実現に挑戦し、その構成原理と可能性を明らかにする。また理論研究だけでなく、開発したアルゴリズムを実装して公開し、「1兆センサー社会」における高度情報処理の基盤技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

研究組織：目的の実現のために、ビッグデータ処理から理論情報科学分野、とくに大規模離散構造処理と高度知識処理分野における世界第一級の研究者からなる次のような強力な研究チームを組織して、研究開発を行う：

[研究チームの構成] (メンバー：専門分野：役割)

有村 (申請代表)：知能情報学：構造マイニング技術と非構造索引技術

ツオイクマン (分担)：知能情報学：オートマトン理論と計算学習理論

喜田 (分担)：理論情報科学：高速パターン検索と高度圧縮技術

ジョーダン (連携)：理論情報科学：大規模並列計算と確率アルゴリズム設計

これにより、「1兆センサー社会」における実世界の問題解決に取り組み、理論的な性能保証をもつ実世界時空間ストリームの超高速知識処理技術の研究開発を目指す。また、理論研究だけでなく、研究成果の実装も公開する。

研究方法と研究計画：本研究では3年間の研究期間において、多様で膨大な実世界時空間ストリームデータに対する高速大規模処理の基盤技術として、複雑なパターンに対する超

高速検索・発見技術を中心に研究する。研究期間全体では、次の4つの研究項目を設定し、メンバーが有機的に相互連携しながら、機動的に研究開発を進める。

[期間全体の研究項目] (分担メンバーの連携)

- A1. 超高速パターン照合に基づく実世界ストリーム検索技術の研究開発 (有村, 喜田)
- A2. 確率的情報処理と構造列挙手法に基づく実世界ストリーム発見技術の研究開発 (有村, ジョーダン)
- A3. 実世界ストリーム検索・発見と高度知識処理の融合技術の研究開発 (ツオイクマン, 有村)
- B1. プロトタイプシステム構築と予備評価実験 (全員)

各項目の研究内容と研究計画。

研究項目 A1 では、超高速パターン照合手法に基づく実世界ストリーム検索技術の研究開発を行う(有村, 喜田)。最近、重要性が認識されて来た現代的アルゴリズム手法であるビット並列手法や、簡潔データ構造の技術、状態爆発を回避でき複雑なパターンが扱える非決定性オートマトン(NFA)の模倣手法を採用し、正規表現照合や、超多数のアイテムの計数、グラフやエピソードパターン等の複雑パターン族の照合・発見に拡張して、超高速・低メモリ量であり、時空間制約や、適応性・文脈性・多重性を扱える新しい超高速照合技術を研究開発する。

研究項目 A2 では、構造列挙手法に基づく実世界ストリーム発見技術の研究開発を行う(有村, ジョーダン)。本研究項目では、申請者らが現在までに開発した「最右拡張法」や「PPC 拡張法」等の高速構造列挙技法をストリームに拡張して、高速に流れる非構造ストリームから、系列パターンや、グラフパターン、エピソードなどの構造パターンを高速かつ低メモリ量で発見する技術を研究開発する。また、項目 A1 で開発した複雑パターンの超高速照合技法や、分担者のジョーダンらが開発した代表的列挙手法である逆探索手法の大規模並列化技法を適用して、さらなる高速化を行う。

研究項目 A3 では、実世界ストリーム検索・発見と高度知識処理の融合技術の研究開発を行う(ツオイクマン, 有村)。先に開発した項目 A1 の超高速照合技術と A2 の構造列挙に基づくパターン発見技術に基づいて、決定木や、勾配ブースティング, Random Forests, 正則化線形規則等の現在機械学習の実応用で広く使われている高性能な集約的予測ルールの族に対して、発見した複雑パターンを属性として、逐次検出した出現情報を利用しながら、予測ルールを実時間で適応的に構築する効率良いオンライン構造列挙手法を開発する。列挙に基づく高精度・高信頼度の予測ルールの厳密探索手法と、同じく申請者らによるオンライン計算技法を中核に、非構造ストリームから適応的に部品を交換しながら、ルールの構築・更新・予測をオンラインで行う学習アルゴリズムを研究開発する。

研究項目 A4 では、知識発見の長期的振る舞いの同定可能性や安全性の保証に関する理論的解析や、有限オートマトンなどの計算モデルを用いた高速な多ストリーム処理の理論構築を行う。

研究項目 B1 では、プロトタイプシステム構築と実際のストリームデータでの技術評価実験を行う(全員)。

4. 研究成果

本研究の研究成果は、次の通りである。

研究項目 A1: 超高速パターン照合手法に基づく実世界ストリーム検索技術の研究開発。

実世界時空間ストリーム上で、複雑な構造パターンに対して、適応性・文脈性・低メモリ性・高速性を満足する知識の検索・発見技術を開発した。系列データに対するグラフパターンである菱形エピソードの族に対し、統計的な有意性を考慮した効率良いデータマイニング手法を開発した。ビット並列技法を用いた超高速実世界ストリーム検索技術の研究開発につい

ては、前年度の成果である全オンライン接尾辞木の研究が、系列データアルゴリズムの第一級の雑誌である *Algorithmica* に掲載された(Takagi 他, *Algorithmica*2020) . SNS データの大規模解析の基本演算であるデータストリームに対するアイテム計数問題を考察し、現在の最高性能の計数方法である COUNT-MIN ハッシュ法を拡張して、超高速なビット並列計数アルゴリズムを開発し、応用情報検索分野の第一級の会議である SPIRE2019 で発表した(Kaneta 他, SPIRE2019) . 系列データからの統計的有意な菱形エピソードの発見について効率良い手法を開発し(谷他, DEIM2019) , さらに低メモリ性を考慮したビット並列手法を検討した .

研究項目 A2 : 確率的手法と構造列挙手法に基づく実世界ストリーム発見技術の研究開発 .

多様で膨大な実世界時空間ストリームデータから、特徴的なパターンや規則性を検索・発見する超高速な検索・発見技術の基礎技術を開発した . RMSD 距離に関する 3 次元点集合マッチングに対する効率良いオフライン照合アルゴリズムを与えた(Sasaki 他, IEICE Trans. 2019) . グラフコードのトライであるグラフ断片決定木を用いた多様で小さな高精度のパターン集合を構築する軽量手法を開発した(坂上他, JSAI2018) . ビット詰め込みを用いて小さなサイズで格納可能な圧縮データ構造 DenseZDD とその高速検索アルゴリズムを開発した(Denzumi 他, Algorithms) . 確率的手法に基づく超高速実世界ストリーム計数技術に関しては、空間ストリームデータ処理に関して、事後確率最大化に基づくマップマッチング手法ルートグラフの開発を行ない(Inakoshi 他, IPSJ TOM, 2019) , 極大信頼度正則化領域のマイニング手法を提案した(Inakoshi 他, 人工知能学会論文誌, 2019) . 相互作用をもつ特徴選択スコアの計算に、構造列挙手法に基づく効率良い手法を提案し、実験結果を発表した(王他 SIG-FPAI2021) . さらに、先のビット並列ストリーム計数手法を適用するための検討をおこなった . 構造列挙手法に基づく超高速実世界ストリーム発見技術については、候補となる構造を高速に列挙する手法として、弦二部グラフ列挙(Kurita 他, IWOC2019)と誘導木再構成問題の高速アルゴリズム(Wasa 他, IEICE Trans. 2019)を研究開発した .

研究項目 A3 : 実世界ストリーム検索・発見と高度知識処理の融合技術の研究開発 .

長期的なデータストリームからの学習の理論的モデルである正データからの帰納推論において、検証と比較が可能な新しいモデルを導入し、そのストリームからの学習可能性を明らかにした(Gao 他, ALT2018) . ストリームからの学習の理論的モデルである正データからの帰納推論において、第三者からの助言(advice)を導入した非一様な新しい学習可能性に必要な非一様度を明らかにした(Jain, Frank, Zeugmann, 2020) . 得られた予測モデルの説明可能性に関して、決定森を含む予測モデルクラスに対して、望ましい出力を与える入力を求める半実仮想説明の実効的な計算手法を開発した(Kanamori 他 AAAI2021, IJCAI-PRICAI2020) . さらに、決定森のクラスに対する出現頻度比に基づく変数重要度の計算方法を提案し、その有効性を実データで検証した(又他 JSAI2020) . 超高速ストリーム知識発見の理論的基盤の研究について、ツォイクマンは、多ストリーム処理におけるセキュリティに関係する研究として、代数系 Z_p と Z_{pe} 上の離散平方根問題の性質について調べた . 長期的なデータストリームからの学習理論の周知と啓蒙として、ツォイクマンは、理論計算機科学の学術誌である TCS 誌にて、データからの学習可能性と計算量に関する論文特集を企画・執筆し、掲載された .

研究項目 B1 : プロトタイプシステム構築と実際のストリームデータでの技術評価実験 .

プロトタイプシステム構築に関して、ジョーダン は、木構造をした探索空間における離散構造列挙のための大規模並列計算フレームワーク mts を開発して、その性能を実験的に評価した(Avis, Jordan, Optimization Methods and Software, 2019) . さらにジョーダンは、大規模並列フレームワーク mts を、インターネット上で公開した . これらに加えて、全員で各項目にお

いて開発した各種アルゴリズムの実装，理論的実証的解析を行ない，開発にフィードバックした．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jain Sanjay, Stephan Frank, Zeugmann Thomas	4. 巻 104668
2. 論文標題 On the amount of nonconstructivity in learning formal languages from text	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information and Computation	6. 最初と最後の頁 104668 ~ 104668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ic.2020.104668	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 Zeugmann Thomas	4. 巻 12098
2. 論文標題 On the Interplay Between Inductive Inference of Recursive Functions, Complexity Theory and Recursive Numberings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 124 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-51466-2_11	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 Kentaro Kanamori, Takuya Takagi, Ken Kobayashi, Yuichi Ike, Kento Uemura, Hiroki Arimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Ordered Counterfactual Explanation by Mixed-Integer Linear Optimization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 35th Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2021)	6. 最初と最後の頁 -
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 Kanamori Kentaro, Takagi Takuya, Kobayashi Ken, Arimura Hiroki	4. 巻 -
2. 論文標題 DACE: Distribution-Aware Counterfactual Explanation by Mixed-Integer Linear Optimization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence and the 17th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 2855-2862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24963/ijcai.2020/395	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 Takuya Takagi, Shunsuke Inenaga, Hiroki Arimura, Dany Breslauer, and Diptarama Hendrian	4. 巻 82
2. 論文標題 Fully-Online Suffix Tree and Directed Acyclic Word Graph Construction for Multiple Texts,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithmica (issue date May 2020)	6. 最初と最後の頁 1346-1377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-019-00646-w	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 Hiroya Inakoshi, Tatsuya Asai, Takuya Kida, Hiroki Arimura	4. 巻 Vol.34(3), No.D-156
2. 論文標題 Discovery of Regularized Areas with Maximal Confidence from Location Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 pp.1-10,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.D-156	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 Takuya Takagi, Shunsuke Inenaga, Hiroki Arimura, Dany Breslauer, and Diptarama Hendrian	4. 巻 Vol.82
2. 論文標題 Fully-Online Suffix Tree and Directed Acyclic Word Graph Construction for Multiple Texts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 pp.1346-1377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-019-00646-w	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 Kunihiro Wasa, Katsuhisa Yamanaka, Hiroki Arimura	4. 巻 Vol.102-D, No.3
2. 論文標題 The Complexity of Induced Tree Reconfiguration Problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Inf. and Syst.	6. 最初と最後の頁 pp.464-469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2018FCP0010	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 Hiroya Inakoshi, Junichi Shigezumi, Tatsuya Asai, Takuya Kida, Hiroki Arimura	4. 巻 Vol.12, No.1
2. 論文標題 Route graph: joint map-matching by maximizing posterior probability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IP SJ Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications	6. 最初と最後の頁 pp.19
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 Yoichi Sasaki, Tetsuo Shibuya, Kimihito Ito, and Hiroki Arimura	4. 巻 vol.E102-A, no.9
2. 論文標題 Efficient Approximate 3-Dimensional Point Set Matching Using Root-Mean-Square Deviation Score	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Inf. and Syst.	6. 最初と最後の頁 pp.1159-1170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.1159	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 David Avis, Charles Jordan	4. 巻 online
2. 論文標題 mts: a light framework for parallelizing tree search codes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optimization Methods and Software	6. 最初と最後の頁 pp.1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10556788.2019.1692344	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 Yusaku Kaneta, Takeaki Uno and Hiroki Arimura	4. 巻 vol.11811
2. 論文標題 Fast Identification of Heavy Hitters by Cached and Packed Group Testing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer, the 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval	6. 最初と最後の頁 pp.241-257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-32686-9_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 -

1. 著者名 Thomas Zeugmann	4. 巻 TCS-TR-A-19-83
2. 論文標題 Taking discrete roots in the field Z_p and in the ring Z_p	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Technical Report, Division of Computer Science, Hokkaido University,	6. 最初と最後の頁 1-38
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 Yoichi Sasaki, Tetsuo Shibuya, Kimihito Ito, and Hiroki Arimura	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 "Efficient Approximate 3-Dimensional Point Set Matching Using Root-Mean-Square Deviation Score"	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Inf. and Syst., Special Section on Discrete Mathematics and Its Applications	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) 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 Shuheii Denzumi, Jun Kawahara, Koji Tsuda, Hiroki Arimura, Shin-ichi Minato, and Kunihiko Sadakane	4. 巻 Vol.11, No.8
2. 論文標題 "DenseZDD: A Compact and Fast Index for Families of Sets"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Algorithms	6. 最初と最後の頁 issue 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/a11080128	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 Kazuhiro Kurita, Kunihiro Wasa, Hiroki Arimura, and Takeaki Uno	4. 巻 Vol.8
2. 論文標題 "Efficient Enumeration of Dominating Sets for Sparse Graphs"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2018), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 pp1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2018.8	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 Kazuhiro Kurita, Kunihiro Wasa, Alessio Conte, Takeaki Uno, and Hiroki Arimura	4. 巻 Vol.10979
2. 論文標題 "Efficient Enumeration of Subgraphs and Induced Subgraphs with Bounded Girth"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Workshop on Combinatorial Algorithms (IWOCA 2018), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 pp.201-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-94667-2_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 Ziyuan Gao, Sanjay Jain, Frank Stephan, Thomas Zeugmann	4. 巻 aaa
2. 論文標題 On the Help of Bounded Shot Verifiers, Comparators and Standardisers for Learnability in Inductive Inference.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ALT 2018	6. 最初と最後の頁 413-437
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 Charles Jordan, Michael Joswig, Lars Kastner	4. 巻 Vol.25, No.3
2. 論文標題 Parallel Enumeration of Triangulations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electr. J. Comb.	6. 最初と最後の頁 P3.6
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 David Avis, Charles Jordan	4. 巻 Vol.10, No.2
2. 論文標題 mplrs: A scalable parallel vertex/facet enumeration code.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Math. Program. Comput.	6. 最初と最後の頁 267-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s1253	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16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 加井丈志, 光吉健汰, 古谷 勇, 有村 博紀
2. 発表標題 デカルト木照合の部分系列への拡張
3. 学会等名 コンピューテーション (COMP) 研究会, 電子情報通信学会 (発表決定)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 王 叶, 有村 博紀
2. 発表標題 一貫性に基づいた特徴選択のための高速な列挙アルゴリズム
3. 学会等名 第116回人工知能基本問題研究会 (SIG-FPAI), 人工知能学会, オンライン, March 2021
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 又 康太, 金森 憲太郎, 有村 博紀
2. 発表標題 Variable Importance Cloudの要約方法と決定木に対する実験的評価
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 又 康太, 金森 憲太郎, 有村 博紀
2. 発表標題 決定木アンサンブルにおける出現頻度比に基づく変数重要度
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会 (JSAI2020), オンライン, 2020年6月4-7日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金森 憲太郎, 高木 拓也, 小林 健, 有村 博紀
2. 発表標題 混合整数線形計画法に基づく実現可能性を考慮した反事実的説明法
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会 (JSAI2020), オンライン, 2020年6月4-7日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有村 博紀, 金森 憲太郎, 王 叶
2. 発表標題 決定木要約の効率良い構築法 -- 説明可能な人工知能の実現に向けて --
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会 (JSAI2020), オンライン, 2020年6月4-7日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 祐汰, 瀧川 一学, 有村 博紀
2. 発表標題 ランダム分割木に基づく勾配ブースティングの検証
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019), ウィンクあいち, 名古屋市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhiro Kurita, Kunihiro Wasa, Takeaki Uno, Hiroki Arimura
2. 発表標題 A Constant Amortized Time Enumeration Algorithm for Independent Sets in Graphs with Bounded Clique Number
3. 学会等名 3rd International Workshop on Enumeration Problems and Applications (WEPA 2019), Awaji Island, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王 叶, 有村 博紀
2. 発表標題 説明可能な機械学習に向けて：整数計画法と列挙に基づく最適決定木の厳密学習アルゴリズムの実験的比較
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019), ウィンクあいち, 名古屋市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧澤涼介, 喜田拓也, 有村博紀, 瀧川一学
2. 発表標題 大きな正規表現に対する系列二分決定グラフを用いた効率よい照合手法
3. 学会等名 コンピューテーション (COMP) 研究会, 電子情報通信学会, COMP2019-18, 北海道大学, 札幌市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷 陽太, 平田 耕一, 有村 博紀
2. 発表標題 "イベント系列からの有意なエピソードの効率良いマイニング"
3. 学会等名 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田 和宏(北海道大学), 和佐 州洋, 宇野 毅明, 有村 博紀
2. 発表標題 "An Efficient Algorithm for Enumerating Chordal Bipartite Induced Subgraphs in Graphs"
3. 学会等名 第171回アルゴリズム研究会, 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森 憲太郎, 有村 博紀
2. 発表標題 "整数計画法に基づく学習済み決定木の公平性を考慮した編集法"
3. 学会等名 第108回人工知能基本問題研究会(SIG-FPAI)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森 憲太郎, 原 聡, 石畠 正和, 有村 博紀
2. 発表標題 "モデル選択のためのサポートベクトル列挙"
3. 学会等名 第29回情報論的学習理論と機械学習 (IBISML) 研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金森 憲太郎, 原 聡, 石畠 正和, 有村 博紀
2. 発表標題 "イベント系列からの有意性を考慮した菱形エピソードマイニング"
3. 学会等名 2018度人工知能学会全国大会 (JSAI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂上 陽規, 瀧川 一学, 有村 博紀
2. 発表標題 "グラフ断片決定木を用いたグラフ特徴抽出手法"
3. 学会等名 2018度人工知能学会全国大会 (JSAI2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Thomas Zeugmann	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 98
3. 書名 Guest Editor's Foreword. Special Issue on Learning Theory and Complexity, Theor. Comput. Sci. Vol.733, pp.1-3	

〔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	トーマス ツオイクマン (ZEUGMANN Thomas) (60374609)	北海道大学・情報科学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	喜田 拓也 (Kida Takuya) (70343316)	北海道大学・情報科学研究院・准教授 (10101)	

	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	ジョーダン チャールズハロルド (Jordan Charles Harold) (60647577)	北海道大学・情報科学研究院・助教	

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
---------	---------

シンガポール	National University of Singapore			
シンガポール	National University of Singapore			