

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24106007

研究課題名(和文)計算限界解析法から革新的データ構造化技術への展開

研究課題名(英文)Development towards innovative data structure utilizing methodology of limit of computation

研究代表者

徳山 豪(Tokuyama, Takeshi)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40312631

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 22,800,000円

研究成果の概要(和文):新学術領域研究ELCで開発した計算限界の解明手法を活用・展開し、ビッグデータ時代を切り開く革新的なデータ構造の開発とそのための理論基盤を築くことを目的として研究を行った。主な成果としては、高速な検索や加工アルゴリズムを持つ圧縮データ構造理論の推進と、圧縮データ構造などのゲノムや社会的な巨大データへの適用、ゼロサプレス決定木(ZDD)に関する技法の開発と、その適用に必要な離散構造解析と高性能アルゴリズムの開発、さらにZDDを用いた離散列挙の幾何学列挙や化学構造列挙への応用の開発、データ研磨と呼ぶ新たなデータクラスタリングの手法とその応用がある。多くの後継プロジェクトにつながった。

研究成果の概要(英文):Our project aimed at development of several new methodologies on innovative data structures for big-data analysis utilizing the methodologies proposed and developed in the ELC project. The major accomplishments are: 1. Development of compressed data structures with efficient search and update algorithms 2. Solutions of problems in the application areas of genome and social big-data analysis by using theoretical compressed data structures, 3. Development of several algorithms and methods on ZDD and its application to structure enumeration in geometry and chemistry, and 4. Development of new data clustering method named data polishing with applications. Those accomplishments leads to real applications and succeed to several new influential data analysis projects lead by members of the project.

研究分野: Theoretical Computer Science

キーワード: 計算理論 アルゴリズム 計算限界 データ構造 情報基礎 ビッグデータ

1. 研究開始当初の背景

計算の神秘の解明と、情報活用による未来社会の創生という情報科学の2つの大きなテーマは、データの構造化技法の変革を共通の基盤とする。たとえば計算理論での巧妙なデータ表現やハッシュのアイデアは実用データ検索の技法に影響を及ぼし、BDDやZDDのような関数表現の圧縮は、計算の下界への道筋であると同時に大規模データ表現に実用化される。したがって、現代のデータサイエンスでの世界的競争力の向上には、本プロジェクトのテーマである、計算限界解析技術の革新的データ構造化技術への展開が非常に重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ビッグデータ時代の情報処理の効率化に、計算可能性の限界追及における最新手法、特にNPの特徴づけの背後にある数多くのアイデアを利用し、さらに学術領域全体で取組んだ、計算限界解明に向けて開発された手法の、現実利用の先導を行うことである。

WEBの大きな原動力は、情報の検索や通信、知識発見のためのデータ構造の理論と技術である。これと同様のことがPCP理論に代表されるNPの特徴づけでも行われている。すなわち、問題の解の「正当性」の証明を構造化して用意し、この構造の閲覧を行うことで飛躍的な効率化を達成している。そこではデータの格納通信や検索のために開発されたデータ構造の手法が利用される。

その共通性に着目し、本研究計画では計算限界で開発された最新手法を、現実の巨大データ処理に生かすという、従来の反対方向の活用を行う研究を実施する。

3. 研究の方法

プロジェクトの3つの柱(下記ABC)を中心に研究活動を進め、最終的にはデータの統計的な性質を自動的に獲得して最適化を行う、革新的なデータ検索・列挙・圧縮を行う理論を構築するとともに、応用分野の研究者との協力により、成果を実装、システム化し社会に公開し、実社会の重要問題を解決する大きな手段として活用を図る。また、理論的にブレークスルーが得られたテーマについて、最高レベルの国際会議で論文発表を行う。

A: 計算限界手法の調査と研究連携:

徳山は計算限界における手法の洗い出しを他の計画研究班と共同で行い、データ検索や構造列挙への利用の方向性と可能性を組織的に行い体系化する。海外研究協力者や企業協力者との連携、数学、災害対策、医療、マテリアル科学などの関連分野の研究者と議論を行い、情報社会での役割を考察した巨視的な立場でプロジェクトの先導を行う。研究分担者の宇野は関連する国内の若手研究者をまとめ、列挙合宿、若手ワークショップの開催を先導する。渋谷は、生命科学の研究

者と協力し、現在の学術での重要課題である蛋白質やゲノムの高機能データベースの構築を本研究のショーケースとして実施する役割を担う。また、堀山と定兼は徳山に協力し、ビッグデータを扱うe-サイエンスでの革新的アルゴリズム研究(学術会議大型研究マスタープランテーマ)とのリンクを行い、スパコン等の最先端インフラ上でのシステム開発の主導を行う。

B: データ検索・圧縮における構造化の探求: 渋谷はタンパク質立体構造データベースをベンチマークにしてS-MADの技術の推進を行い、統計学的なモデルを利用したデータベース検索の高速化・高精度化を行うためのより精密なモデル化を試みる。特に柔軟かつ複雑な検索の理論の精密化と実際の高速化の実現をめざすとともに、研究のショーケースとして社会に公開する。

C: 構造列挙のモデル化とアルゴリズム:

宇野と堀山を中心に、計算限界手法を利用したデータ構造化を検討し、構造列挙を研究する。特に、堀山が最近世界で初めて成功した、同型構造を重複せずに数え上げる新手法を拡張し、化学、物性、生物などでの現実利用について共同研究を推進する。

4. 研究成果

平成24年から平成28年年末29名の海外研究者を受け入れ、11件の受賞、65件のアウトリーチ活動(招待講演や解説記事、一般向けセミナーなど)150件の査読付き原著論文(内71件を本報告書に記載)、50件の国内研究会発表、42件の全国大会や査読なしの国際会議発表を行い、また研究集会を4回主催した。また、本研究は理論プロジェクトからビッグデータの利活用への展開を意図しており、研究代表者の徳山は文部科学省のビッグデータ利活用プロジェクト(筑波大学、東北大学、東京大学、慶応大学)、ERATO河原林巨大グラフプロジェクトNARCグループリーダー、IMPACTタフロボティクスタフロボティクス解析プロジェクトなどのPIとして本プロジェクトの理論成果を展開し、研究協力者の堀山はこれらのプロジェクトに参画した。また、研究協力者の宇野はビッグデータ基盤CRESTにおいて「データ粒子化による高速高精度な次世代マイニング技術の創出」の代表者となり、研究協力者の渋谷、連携研究者の宇野は、ビッグデータCRESTにおいて「ビッグデータ時代に向けた革新的アルゴリズム基盤」の主たる研究協力者としてそれぞれ革新的な構造の成果を生かした。

このように、本研究の活発な活動が高く社会に認識され、計算理論のビッグデータ応用を現実に推進する基盤となって学術の発展と社会貢献を実現しており、当初の期待を大きく上回る成果を上げたと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 71 件、すべて査読有)

- (1) F. Hurtado, M. Korman, M. van Kreveld, M. Löffler, V. Sacristan, A. Shioura, R. I. Silveira, B. Speckmann, Takeshi Tokuyama: Colored Spanning Graphs for Set Visualization, Computational Geometry: Theory and Application 68, 262-276, 2018. 10.1016/j.comgeo.2017.06.006.
- (2) L. Gasieniec, C. Levkopoulos, A. Lingas, R. Pagh, Takeshi Tokuyama: Efficiently Correcting Matrix Products, Algorithmica 79(2), 428-443, 2017. 10.1007/s00453-016-0202-3.
- (3) K. Ishiyama, Kunihiko Sadakane: A Succinct Data Structure for Multidimensional Orthogonal Range Searching, Proc. IEEE Data Compression Conference, 270-279, 2017. 10.1109/DCC.2017.47
- (4) K. Nakamura, Kunihiko Sadakane: A Space-Efficient Algorithm for the Dynamic DFS Problem in Undirected Graphs, Proc. WALCOM, LNCS 10167, 295-307, 2017. 10.1007/978-3-319-53925-6_23
- (5) Katsuhisa Yamanaka, E. Demaine, Takashi Horiyama, A. Kawamura, S. Nakano, Y. Okamoto, T. Saitoh, A. Suzuki, R. Uehara, and Takeaki Uno: Sequentially swapping colored tokens on graphs, In Proc. of Workshop on Algorithms and Computation 2017, (WALCOM 2017), LNCS 10167, 435-447, 2017. 10.1007/978-3-319-53925-6_34
- (6) K. Yamanaka, S. Nakano: Enumeration, counting, and random generation of ladder lotteries, IEICE Trans. on Inf. Systems, E100-D(3), 444-451, 2017. http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e100-d_3_444.
- (7) D. Xu, Takashi Horiyama, T. Shirakawa, R. Uehara: Common Developments of Three Incongruent Boxes of Area 30, Computational Geometry: Theory and Applications, 64, 1-12, 2017. 10.1016/j.comgeo.2017.03.001.
- (8) S. Fukuda, A. Shioura, Takeshi Tokuyama: Buyback problem with discrete concave valuation functions. Discrete Optimization 26: 78-96, 2017. 10.1016/j.disopt.2017.07.002
- (9) T. Ito, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno: A polynomial-time approximation scheme for the geometric unique coverage problem on unit squares, Comput. Geom., 51, 25-39, 2016. 10.1016/j.comgeo.2015.10.004.
- (10) Y. Araki, Takashi Horiyama, R. Uehara: Common Unfolding of Regular Tetrahedron and JZ Solid, Journal of Graph Algorithms and Applications, vol. 20, no. 1, 101-114, 2016. 10.7155/jgaa.00386.
- (11) Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, Takeaki Uno, M. Yagiura: A Partition-Based Heuristic Algorithm for the Rectilinear Block Packing Problem, The Journal of the Operations Research Society of Japan, 59, 110-129, 2016. <https://doi.org/10.15807/jorsj.59.110>
- (12) Gonzalo Navarro, Kunihiko Sadakane: Compressed Tree Representations. Encyclopedia of Algorithms 2016: 397-401D, 2016. 10.1007/978-1-4939-2864-4_641.
- (13) D. Koppl, Kunihiko Sadakane: Lempel-Ziv Computation In Compressed Space (LZ-CICS), In Proc. of Data Compression Conference (DCC), 3-12, 2016. 10.1109/DCC.2016.38.
- (14) N. Kaothanthong, J. Chun, Takeshi Tokuyama: Distance interior ratio: A new shape signature for 2D shape retrieval, Pattern Recognition Letters, 78, 14-21, 2016. 10.1016/j.patrec.2016.03.029.
- (15) T. Onodera, Tetsuo Shibuya: Fast Classification of Protein Structures by an Alignment-free Kernel, The 23rd International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE 2016), LNCS, 9954, 68-79, 2016. 10.1007/978-3-319-46049-9_7.
- (16) Takashi Horiyama, R. Uehara, H. Hosoya: Convex Configurations on Nana-kin-san Puzzle. FUN 2016: 20:1-20:14, 2016. 10.4230/LIPIcs.FUN.2016.20.
- (17) Takeaki Uno, Yushi Uno: Mining preserving structures in a graph sequence, Theoretical Computer Science, 654, 155-163, 2016. 10.1016/j.tcs.2015.12.007
- (18) T. Miltzow, L. Narins, Y. Okamoto, G. Rote, A. Thomas, Takeaki Uno: Approximation and Hardness of Token Swapping, European Symposium on Algorithms 2016, 66, 1-15, 2016. 10.4230/LIPIcs.ESA.2016.66.
- (19) J. Torres, A. Tomas, I. Medina, Kunihiko Sadakane, I. Blanquer: Pair-End Inexact Mapping on Hybrid GPU Environments and Out-Of-Core Indexes, Current Bioinformatics, 11(4), 459-469, 2016. 10.2174/1574893611666160212235359.
- (20) T. Takagi, S. Inenaga, Kunihiko Sadakane, H. Arimura: Packed Compact Tries: A Fast and Efficient Data Structure for Online String Processing, Proc. IWOCA, LNCS 9843, 213-225, 2016. 10.1007/978-3-319-44543-4_17.

- (21) A. Ganguly, W-K. Hon, Kunihiko Sadakane, R. Shah, S. Thankachan, Y. Yang: Space-Efficient Dictionaries for Parameterized and Order-Preserving Pattern Matching, Proc. CPM, LIPIcs 54, 2:1-2:12, 2016. 10.4230/LIPIcs.CPM.2016.2.
- (22) T. Lee, S. Denzumi, Kunihiko Sadakane: Engineering Hybrid DenseZDDs, Proc. SEA, LNCS 9685, 201-216, 2016. 10.1007/978-3-319-38851-9_14.
- (23) A. Koike, Kunihiko Sadakane: A Novel Computational Model for GPUs with Applications to Efficient Algorithms, International Journal of Networking and Computing, 5(1), 26-60, 2015. <http://www.ijnc.org/index.php/ijnc/article/view/96>
- (24) L. Barba, M. Korman, S. Langerman, R. Silveira, Kunihiko Sadakane: Space-Time Trade-offs for Stack-Based Algorithms, Algorithmica, 72, 1097-1129, 2015. 10.1007/s00453-014-9893-5
- (25) Y. Araki, Takashi Horiyama, R. Uehara: Common Unfolding of Regular Tetrahedron and Johnson-Zalgaller Solid, In Proc. of the 9th International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2015), LNCS 8973, 294-305, 2015. 10.1007/978-3-319-15612-5_26
- (26) M. Eita, Tetsuo Shibuya, A. Shoukry: Locating Controlling Regions of Neural Networks Using Constrained Evolutionary Computation, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2015), 1581-1588, 2015. 10.1109/CEC.2015.7257076.
- (27) K. Yamanaka, E. Demaine, T. Ito, J. Kawahara, M. Kiyomi, Y. Okamoto, T. Saitoh, A. Suzuki, K. Uchizawa, T. Uno: Swapping labeled tokens on graphs, Theoretical Computer Science, 586, 81-94, 2015. 10.1016/j.tcs.2015.01.052.
- (28) D. Xu, Takashi Horiyama, T. Shirakawa, R. Uehara: Common Developments of Three Incongruent Boxes of Area 30, Proc. 12th Theory and Applications of Models of Computation (TAMC 2015), LNCS 9076, 236-247, 2015. 10.1007/978-3-319-17142-5_21.
- (29) W-K. Sung, K. Sadakane, Tetsuo Shibuya, A. Belorkar and I. Pyrogorova: An $O(m \log m)$ -time algorithm for detecting superbubbles, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 12(4), 770-777, 2015. 10.1109/TCBB.2014.2385696.
- (30) Yang Li, T. Shibuya: Malphite: A Convolutional Neural Network and Ensemble Learning Based Protein Secondary Structure Predictor, In Proc. of IEEE Conference on Bioinformatics and Biomedicine, 1260-1266, 2015. 10.1109/BIBM.2015.7359861.
- (31) Takeaki Uno: Constant Time Enumeration by Amortization, In Proc. of the 14th Algorithms and Data Structures Symposium (WADS 2015), LNCS 9214, 593-605, 2015. 10.1007/978-3-319-21840-3_49.
- (32) K. Yamanaka, Takashi Horiyama, D. Kirkpatrick, Y. Otachi, T. Saitoh, R. Uehara, Y. Uno: Swapping colored tokens on graphs, In Proc. of the 14th Algorithms and Data Structures Symposium (WADS 2015), LNCS 9214, 619-628, 2015. 10.1007/978-3-319-21840-3_51
- (33) M. Kante, V. Limouzy, A. Mary, L. Nourine, Takeaki Uno: Polynomial Delay Algorithm for Listing Minimal Edge Dominating Sets in Graphs, In Proc. of the 14th Algorithms and Data Structures Symposium (WADS 2015), LNCS 9214, 446-457, 2015. 10.1007/978-3-319-21840-3_37.
- (34) S. Fukuda, A. Shioura, T. Tokuyama: Buyback Problem with Discrete Concave Valuation Functions, In Proc. of the 13th Workshop on Approximation and Online Algorithms (WAOA 2015), LNCS 9499, 72-83, 2015. 10.1007/978-3-319-28684-6_7.
- (35) M. Tomono, Takeaki Uno: Map merging using cycle consistency check and RANSAC-based spanning tree selection, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2015, 5662-5669, 2015. ieeexplore.ieee.org/iel7/7347169/7353104/07354181.pdf.
- (36) C. Boucher, A. Bowe, T. Gagie, S. Puglisi, Kunihiko Sadakane: Variable-Order de Bruijn Graphs, In Proc. of Data Compression Conference (DCC), 383-392, 2015. 10.1109/DCC.2015.70.
- (37) P. Bille, G. Landau, R. Raman, Kunihiko Sadakane, S. Rao Satti, O. Weimann: Random Access to Grammar Compressed Strings and Trees, SIAM Journal on Computing, 44(3), 519-539, 2015. 10.1137/130936889.
- (38) E. Demaine, M. Demaine, N. Harvey, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno: UNO is hard, even for a single player, Theoretical Computer Science, 521, 51-61, 2014. 10.1016/j.tcs.2013.11.023.
- (39) K. Murakami, Takeaki Uno: Efficient algorithms for dualizing large-scale hyper-graphs, Discrete Applied Mathematics, 170, 83-94, 2014. 10.1016/j.dam.2014.01.012.
- (40) J. Kim, P. Eades, R. Fleischer, S-H. Hong, C. Iliopoulos, K. Park, S. Puglisi, Takeshi Tokuyama: Order-preserving matching, Theor. Comput. Sci, 525, 68-79, 2014. 10.1016/j.tcs.2013.10.006.

- (41) H-K. Ahn, S.W. Bae, O. Cheong, J. Gudmundsson, Takeshi Tokuyama, A. Vigneron: A Generalization of the Convex Kakeya Problem, *Algorithmica*, 70(2), 152-170, 2014. 10.1007/s00453-013-9831-y.
- (42) M. Li, Y. Otachi, Takeshi Tokuyama: Efficient algorithms for network localization using cores of underlying graphs, *Theor. Comput. Sci.*, 553, 18-26, 2014. 10.1016/j.tcs.2014.02.020.
- (43) J. Chun, A. Shioura, T. Tien, Takeshi Tokuyama: A Unified View to Greedy Geometric Routing Algorithms in Ad Hoc Networks, *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E97-A(6), 1220-1230, 2014. http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e97-a_6_1220.
- (44) L. Barba, O. Cheong, J. De Carufel, M. Dobbins, R. Fleischer, A. Kawamura, M. Korman, Y. Okamoto, J. Pach, Y. Tang, Takeshi Tokuyama, S. Verdonschot, T. Wang: Weight Balancing on Boundaries and Skeletons, *Symposium on Computational Geometry*, 436-446, 2014. 10.1145/2582112.2582142.
- (45) Takeaki Uno, H. Satoh: An Efficient Algorithm for Enumerating Chordless Cycles and Chordless Paths, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (DS2014)*, 8777, 313-324, 2014. 10.1007/978-3-319-11812-3_27.
- (46) K. Wasa, Y. Kaneta, Takeaki Uno, H. Arimura: Constant Time Enumeration of Subtrees with Exactly k Nodes in a Tree, *IEICE Transactions*, 97-D(3), 421-430, 2014. http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e97-d_3_421.
- (47) S. Koichi, M. Arisaka, H. Koshino, A. Aoki, S. Iwata, Takeaki Uno, H. Satoh: Chemical Structure Elucidation from 13C NMR Chemical Shifts: Efficient Data Processing Using Bipartite Matching and Maximal Clique Algorithms, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54(4), 1027-1035, 2014. 10.1021/ci400601c.
- (48) T. Ito, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno: A 4.31-approximation for the geometric unique coverage problem on unit disks, *Theoretical Computer Science*, 544, 14-31, 2014. 10.1016/j.tcs.2014.04.014.
- (49) S. Denzumi, J. Kawahara, K. Tsuda, H. Arimura, S. Minato and Kunihiko Sadakane: DenseZDD: A Compact and Fast Index for Families of Sets, *Proc. Symposium on Experimental Algorithms*, LNCS 8504, 187-198, 2014. 10.1007/978-3-319-07959-2_16.
- (50) Z. Abel, E. Demaine, M. Demaine, Takashi Horiyama, R. Uehara: Computational Complexity of Piano-Hinged Dissections, *IEICE Trans. Fundamentals*, E97-A(6), 1206-1212, 2014. http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e97-a_6_1206.
- (51) S. Moustafa, Tetsuo Shibuya and A. Shoukry: Improving miRNA Classification Using an Exhaustive Set of Features, *Proc. PACBB 2014, Advances in Intelligent and Soft Computing*, Springer, vol. 294, 31-39, 2014. 10.1007/978-3-319-07581-5_4.
- (52) Takashi Horiyama, M. Kiyomi, Y. Okamoto, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno, Y. Yamauchi: Sankaku-Tori: An Old Western Japanese Game Played on a Point Set, In *Proc. of the 7th Int'l Conf. on Fun with Algorithms (FUN 2014)*, LNCS 8496, 230-239, 2014. 10.1007/978-3-319-07890-8_20.
- (53) K. Yamanaka, E. Demaine, T. Ito, J. Kawahara, M. Kiyomi, Y. Okamoto, T. Saitoh, A. Suzuki, K. Uchizawa, Takeaki Uno: Swapping Labeled Tokens on Graphs, In *Proc. 7th Int'l Conf. on Fun with Algorithms (FUN 2014)*, LNCS 8496, 364-375, 2014. 10.1007/978-3-319-07890-8_31.
- (54) E. Demaine, Y. Huang, C-S. Liao, Kunihiko Sadakane: Canadians Should Travel Randomly, *Proc. 41st International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP)*, LNCS 8572, 380-391, 2014. 10.1007/978-3-662-43948-7_32.
- (55) H-K. Ahn, S-W. Bae, O. Cheong, J. Gudmundsson, Takeshi Tokuyama, A. Vigneron: A Generalization of the Convex Kakeya Problem, *Algorithmica*, 2014, 10.1007/s00453-013-983.
- (56) T. Nakahara, Takeaki Uno, Y. Hamuro: Prediction Model Using Micro-clustering, *Proc. 18th Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2014)*, 1488-1494, 2014. 10.1016/j.procs.2014.08.231.
- (57) S. Minato, Takeaki Uno, K. Tsuda, A. Terada, J. Sese: A Fast Method of Statistical Assessment for Combinatorial Hypotheses Based on Frequent Itemset Enumeration, *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML/PKDD) (2)*, 422-436, 2014. 10.1007/978-3-662-44851-9_27.
- (58) J. Chun, Takashi Horiyama, T. Ito, N. Kaothanthong, H. Ono, Y. Otachi, Takeshi Tokuyama, R. Uehara, Takeaki Uno: Base-object location problems for base monotone regions, *Theoretical Computer Science*, 555, 71-84, 2014. 10.1016/j.tcs.2013.11.030.

(59) K. Wasa, H. Arimura, Takeaki Uno: Efficient Enumeration of Induced Subtrees in a K-Degenerate Graph, In Proc. of the 25th Int' l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2014), 62(2), 94-102, 2014. 10.1007/978-3-319-13075-0_8.

(60) J. Chun, Takashi Horiyama, T. Ito, N. Kaothanthong, Hi. Ono, Y. Otachi, Takeshi Tokuyama, R. Uehara, Takeaki Uno: Base Location Problems for Base-Monotone Regions, In Proc. of the 7th International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2013), LNCS 7748, 53-64, 2013. 10.1007/978-3-642-36065-7_7.

(61) L. Barba, M. Korman, S. Langerman, R. Silveira, Kunihiko Sadakane: Space-Time Trade-offs for Stack-Based Algorithms, In Proc. of the 30th Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2013), LIPIcs20, 281-292, 2013. 10.4230/LIPIcs.STACS.2013.281.

(62) C-T. Nguyen, N. Kaothanthong, Takeshi Tokuyama, X. H. Phan: A feature-word-topic model for image annotation and retrieval, ACM Transaction on WEB, 7(3): 12, 2013. 10.1145/2516633.2516634.

(63) J. Chun, N. Kaothanthong, Takeshi Tokuyama: Classified-Distance Based Shape Descriptor for Application to Image Retrieval, In Proc. of Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP), (2), 1-8, 2013. 10.1007/978-3-642-40246-3_1.

(64) Takeaki Uno, R. Uehara, S. Nakano: Bounding the Number of Reduced Trees, Cogroups, and Series-Parallel Graphs by Compression, Discrete Math., Algorithms and Applications, 5(2), 2013, 1360001 - 1350014. 10.1142/S179383091360001X.

(65) T. Onodera, Tetsuo Shibuya: The Gapped Spectrum Kernel for Support Vector Machines, Proc. Machine Learning and Data Mining (MLDM 2013), LNCS 7988, 1-15, 2013. 10.1007/978-3-642-39712-7_1.

(66) J. Chun, R. Gonzalo, Takeshi Tokuyama: Space-efficient and data-sensitive polygon reconstruction algorithms from visibility angle information, Proc. 24th Int' l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2013), LNCS 8283, 22-32, 2013. 10.1007/978-3-642-45030-3_3.

(67) M. Kante, V. Limouzy, A. Mary, L. Nourine, Takeaki Uno: On the Enumeration and Counting of Minimal Dominating sets in Interval and Permutation Graphs, Proc. 24th Int' l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2013), LNCS 8283, 339-349, 2013. 10.1007/978-3-642-45030-3_32.

(68) Takashi Horiyama, Wataru Shoji: The Number of Different Unfoldings of Polyhedra, Proc. 24th Int' l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2013), LNCS 8283, 623-633, 2013. 10.1007/978-3-642-45030-3_58.

(69) T- P. Nhung, C.-T. Nguyen, J. Chun, H. V. Le, Takeshi Tokuyama: A Multiple Instance Learning Approach to Image Annotation with Saliency Map. KDIR/KMIS 2013: 152-159. 10.5220/0004543901520159.

(70) T. Ito, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno: A 4.31-Approximation for the Geometric Unique Cover-age Problem on Unit Disks, Proc. 23rd Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2012), LNCS 7676, 372-381, 2012. 10.1007/978-3-642-35261-4_40.

(71) Takeaki Uno: Efficient Computation of Power Indices for Weighted Majority Games, In Proc. of the 23rd Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2012), LNCS 7676, 679-689, 2012. 10.1007/978-3-642-35261-4_70.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳山 豪 (TOKUYAMA Takeshi)
東北大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 40312631

(2) 研究分担者

宇野 毅明 (UNO Takeaki)
国立情報学研究所・情報プリンシプル研究系・教授
研究者番号: 00302977

堀山 貴史 (HORIYAMA Takashi)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 60314530

渋谷 哲朗 (SHIBUYA Tetsuo)
東京大学・医科学研究所・准教授
研究者番号: 60396893

(3) 連携研究者

定兼 邦彦 (SADAKANE Kunihiko)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 20323090

山中 克久 (YAMANAKA Katsuhisa)
岩手大学・理工学部・准教授
研究者番号: 60508836