


パラメトリック最適化を用いた幾何学データ処理の研究

著者	徳山 豪
URL	http://hdl.handle.net/10097/41509



パラメトリック最適化を用いた幾何学データ処理の
研究

(課題番号 13680387)

平成13年度～15年度科学研究費補助金
(基盤研究 (C) (2))

研究成果報告書

平成16年5月

研究代表者 徳山 豪

(東北大学教授 大学院情報科学研究科)

パラメトリック最適化を用いた幾何学データ処理の
研究

(課題番号 13680387)

平成13年度～15年度科学研究費補助金
(基盤研究 (C) (2))

研究成果報告書

平成16年5月

研究代表者 徳山 豪

(東北大学教授 大学院情報科学研究科)

1 はじめに

本報告書は、平成13年度～15年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))パラメトリック最適化を用いた幾何学データ処理の研究(課題番号13680387)の成果をまとめたものである。研究代表者は徳山豪(東北大学大学院情報科学研究科)である。使用経費は、平成13年度140万円、平成14年度100万円、平成15年度100万円の計340万円で、全て直接経費であった。

代表者のみで組織される研究課題であるが、研究体制としては、国内外での計算幾何学や最適化技術の一流研究者との研究討論を定常的に行い、本テーマを含めて広く研究打ち合わせを行ない協力を行った。特に、浅野哲夫氏(北陸先端科学技術大学院大学教授)加藤直樹氏(京都大学教授)玉木久夫氏(明治大学教授)定兼邦彦氏(東北大学助手、現九州大学助教授)との共同作業は顕著であり、これら4氏の協力なくして本研究報告書に記載するような大きな成果は不可能であり、この場をお借りしてお礼を申し上げる。

2 研究のあらまし

2.1 研究の目的

幾何学データ処理のアルゴリズム理論である計算幾何学における新しい基本技法の開発を目指して、パラメトリック最適化の研究及び関連する曲面族のアレンジメントの複雑度解析の研究を行う。特に、研究期間中に(1)曲面族のアレンジメントの組み合わせ論的な性質の研究、(2)パラメトリック最適化における最適パラメタ値を求める高速アルゴリズム設計の研究、(3)アルゴリズムの実装と実験を伴った応用研究を行う。

2.2 研究の背景

多次元幾何学構造を持ったデータの処理は近年の情報処理では頻繁に現れ、必要不可欠な技術と言える。理論計算機科学分野では、「計算幾何学」と呼ばれる幾何学データ処理の分野が広く研究され、主に離散組み合わせ理論を用いた数学的な解析を基礎に、高速アルゴリズム設計の研究が行われている。計算幾何学の一つの捉え方として、1次元のデータ処理に連続パラメタを入れたものを取り扱っているという見方をすることができる。計算幾何学の基本的なテクニックであるアレンジメント(曲線配置図)、凸包、ボロノイ図、領域探索法、低次元計画法問題などを、このようなパラメタ化を通して捉えることができる。特に、曲線のアレンジメントと領域探索法は、計算幾何学の国際学会ではメインテーマであるが、パラメトリックなソーティング問題と捉えると非常に理解しやすい。

また、最適化問題に定数個のパラメタを導入してパラメトリック問題を考えた時、異なった組み合わせ構造を持つ解の数の解析は、元の最適化問題が対数計算時間の並列アルゴリズムを持つ(計算階層 NCに入る)事と密接に関係がある。一例として、Bit 計算を用いない(通常の代数計算のみの)モデルにおいて、計算階層 P と NC が異なる事の証明(Mulmuley による)のキーポイントとなっている。そのため、パラメトリック問題における組み合わせ構造の数の評価、特に曲線や曲面のアレンジメントの複雑度解析はコンピュータサイエンス全般に影響を及ぼす重要なテーマである。本研究はこのような背景でパラメトリック最適化とその応用に関する研究を行った。

3 研究成果の概要と評価

3年間の研究期間中に、具体的な成果として17件の論文を発表した。まず、研究の主テーマであるパラメトリック最適化のフレームワークの確立を行い、多次元パラメトリック探索の新しいパラダイム設計を行った(論文2,5,7)。また、理論の基盤となる、超平面アレンジメントに対する組み合わせ理論においても、新しい成果として、3次元のレベルの複雑度解析、及びkレベルのピークに関する高速かつ新規な探索手法を発見した(論文3,4,C6)。更に、パラメトリック最適化の量子計算モデルでの利用についても新しい見地を与えた(論文C5)。パラメトリック手法の応用としては、データマイニング(論文1,6,10)、デジタルハーフトーニング(論文8,9,11,C4)及び画像切り出しに関する研究(論文C1,C2,C3)を行なった。理論的な成果としての成果以外に、特にデータマイニングにおいては、実装によるシステム構築研究も行っている。これらの研究発表は、ACM 計算理論国際会議、ACM 計算幾何学国際会議、ACM-SIAM 離散アルゴリズム国際会議、計算理論とアルゴリズム国際会議、SIAM Journal on Computing、ACM Transaction、離散計算幾何学誌など、理論計算機科学及びアルゴリズム分野において、高い国際的評価を持つ論文誌や国際会議で行われ、十分な成果であると判断できる。更に、本研究費を用いて、国内外で多数の講演、研究会発表を行ない、研究の啓蒙にも努めた。

4 研究成果

4.1 本研究の成果である論文で本報告集に掲載するもの

1. T. Fukuda, Y. Morimoto, S. Morishita, T. Tokuyama, "Data Mining with Optimized Two-Dimensional Association Rules," *ACM Transaction on Database Systems* **26** (2001) 179-213.
2. T. Tokuyama, "Minimax Parametric Optimization Problems and Multi-Dimensional Parametric Searching," *Proceedings of 33rd ACM Symposium on Theory of Computing* (2001) 75-83.
3. N. Katoh and T. Tokuyama, "Notes on Computing Peaks in K-Levels and Parametric Spanning Trees," *Proceedings of 17th ACM Symposium on Computational Geometry* (2001) 241-248.
4. N. Katoh and T. Tokuyama, "K-Levels of Concave Surfaces," *Discrete & Computational Geometry* **27-4** (2002) 567-584.
5. N. Katoh, H. Tamaki, and T. Tokuyama, "Parametric Polymatroid Optimization and Its Geometric Applications," *International Journal of Computational Geometry and Applications* **12-5** (2002) 429-433.
6. Y. Morimoto, T. Fukuda and T. Tokuyama, "Algorithms for Finding Attribute Value Group for Binary Segmentation of Categorical Database," *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering* **14-6** (2002) 1269-1279.
7. T. Tokuyama, "Efficient Algorithms for the Minimum Diameter Bridge

- Problem" *Computational Geometry, Theory and Applications* **24-1** (2003) 11-18.
8. T. Asano, N. Katoh, K. Obokata, and T. Tokuyama, "Matric Rounding Under the L_p -Discrepancy Measure and Its Application to Digital Halftoning," *SIAM Journal on Computing* **32-6** (2003) 123-1435. Preliminary version appeared in *Proceedings of 13th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* (2002) 894-904.
 9. T. Asano, N. Katoh, H. Tamaki and T. Tokuyama, "The Structure and Number of Global Roundings of a Graph," *Proceedings of 9th International Conference on Computing and Combinatorics* (2003) 130-138.
 10. J. Chun, K. Sadakane, T. Tokuyama, "Linear Time Algorithms for Approximating a Curve by a Single-Peaked Curve" *Proceedings of 14th International Symposium on Algorithms and Computation, LNCS2906* (2003) 6-15.
 11. N. Takki-Chebihi and T. Tokuyama, "Enumerating Global Roundings of an Outerplanar Graph" *Proceedings of 14th International Symposium on Algorithms and Computation, LNCS2906* (2003) 425-433.

4.2 本研究の成果であるその他の論文や著作

- C1 T. Asano, N. Katoh and T. Tokuyama, "A Unified Scheme for Detecting Fundamental Curves in Binary Edge Image," *Computational Geometry, Theory and Applications* **18** (2001) 73-93.
- C2 T. Asano, D. Chen, N. Katoh and T. Tokuyama, "Efficient Algorithms for Optimization-Based Image Segmentation," *International Journal of Computational Geometry and Applications* **11-2** (2001) 145-166.
- C3 T. Asano and T. Tokuyama, "On Detecting Digital Line Component in a Binary Image," *IEICE Transaction, Fundamental* **84-A** (2001) 1120-1129.
- C4 K. Sadakane, N. Takki-Chebihi, T. Tokuyama, "Discrepancy-Based Digital Halftoning: Automatic Evaluation and Optimization," *Interdisciplinary Information Sciences* **8-2** (2002) 219-234.
- C5 K. Sadakane, N. Sugawara, T. Tokuyama, "Quantum Computation in Computational Geometry" *Interdisciplinary Information Sciences* **8-2** (2002) 129-136.
- C6 H. Tamaki and T. Tokuyama, "A Characterization of Planar Graphs by Pseudo-Line Arrangement", *Algorithmica* **35** (2003) 269-286.
- C7 徳山 豪 「離散数学とその応用」数理工学社 (2003) 213 ページ

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録していません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。