

超ロバスト計算原理プロジェクト

杉原厚吉

情報理工学系研究科数理情報学専攻

概要

超ロバスト計算原理プロジェクトの本年度の活動と成果を、組織、研究の教育への還元、研究速報、ミュージアム、国際シンポジウムなどを中心に報告する。

1 はじめに

本プロジェクトは、情報の処理と利用を支える諸計算を外乱に対してロバストなものにするための技術を、分野横断的な原理の形に体系化し、それを実世界情報処理に役立てることをめざしている。ここでカバーする計算は、通常の意味での数値計算や記号計算だけでなく、符号・暗号計算、幾何計算、プログラム計算、確率計算、統計計算、離散計算、制御計算、並列計算などの広い範囲を含み、さらに、新しい計算原理として期待されている量子計算や分子計算も視野に入れている。

本プロジェクトに参加している研究者は、既にそれぞれの分野でロバスト計算技術を開拓してきているが、本プロジェクトでは、それらを横断的に眺めて体系化し、汎用のロバスト計算原理を確立しようとしている。以下に本年度の活動とその成果をまとめる。

2 プロジェクト組織

本プロジェクトは、次の四つの活動グループから成り、それぞれの活動グループはさらに複数のサブプロジェクトに分かれている。

(A) 活動グループ A: アルゴリズム

各種のアルゴリズムのためのロバスト計算技術の確立をめざし、次の四つのサブプロジェクトから構成されている。

(A1) 超ロバスト並列計算

(A2) ロバストソフトウェア構成法

(A3) 符号化におけるロバスト計算

(A4) 超ロバスト幾何計算

(B) 活動グループ B: 不確実性のモデル化

確率的現象の背景に存在する不確実性の適切なモデル化によって、ロバストな確率的計算技術を開発することをめざしている。次の二つのサブプロジェクトから成る。

(B1) 不確実性のモデル化と予測

(B2) 揺動散逸原理に基づく時系列データの非線形構造の解析と超ロバストなモデル化

(C) 活動グループ C: 最適化/制御

最適化と制御、ハイブリッドとデュアル、離散と連続の融合の観点から最適化計算・制御計算のロバスト化をめざしており、次のサブプロジェクトから成る。

(C1) ロバスト最適化/制御

(D) 活動グループ D: 量子計算・分子計算

現在のフォンノイマン型計算機では越えられない計算量の壁を打ち破ることが期待されている新しい計算原理に対しても、そのロバスト性確保の技術を開発しており、次の二つのサブプロジェクトから成る。

- (D1) 超ロバスト量子計算
- (D2) 超ロバスト分子計算

3 研究者の雇用と教育環境

本年度はPD 1名, RA 11名を採用した。それぞれの研究成果は, 別項に示すとおりである。

本プロジェクトに対応した教育コースの一つとして「超ロバスト計算原理講究」という科目を新設し, PD, RA には, そこで研究成果を素材とした講義を受け持ってもらい, 研究を教育に還流させた。その講義内容は次のとおりである。

- (1) 2003年4月9日「4次元凸包の作り方とその応用」(教授 杉原厚吉)
- (2) 2003年4月23日「グリッドコンピューティングと高性能計算」(助手 西田晃)
- (3) 2003年5月9日「線形多群判別と超平面配置の理論」(教授 竹村彰通)
- (4) 2003年5月21日「ロバスト制御から(超)ロバスト最適化へ」(教授 原辰次)
- (5) 2003年6月4日「量子計算における超ロバスト性の研究」(助手 丹羽純平)
- (6) 2003年6月18日「量子通信路と情報量保存条件」(助手 小川朋宏)
- (7) 2003年7月2日「最長片道きっぷの経路を求める」(RA 宮代隆平)
- (8) 2003年7月16日「秘密分散法の構成法」(RA 岩本貢)
- (9) 2003年10月8日「SSA アルゴリズムを用いた3次元多角形メッシュへの電子透かしの埋め込み」(RA 室谷浩平)
- (10) 2003年10月22日「LAMN モデルのための情報量規準」(RA 清智也)
- (11) 2003年11月5日「電気シナプス結合細胞系におけるバースト同期現象」(RA 田中剛平)
- (12) 2003年11月19日「カオス時系列データの位相的な解析法」(RA 福田幸二)
- (13) 2003年12月3日「不均一なネットワークにおけるグループ通信のスケジューリング」(RA 蓬来祐一郎)
- (14) 2003年12月17日「Neuromorphic

Engineering-Introduction & Examples-」
(RA 森田賢治)

- (15) 2004年1月14日「グラフの列挙と組合せグレイコード」(PD 菊地洋右)
- (16) 2004年1月28日「市場価格変動の時系列解析」(RA 大西立顕)

これらのPD, RA および超ロバスト計算原理講究の聴講生から, 助手への昇格3名, 日本学術振興会PD, DC採用5名などの実績をあげることができた。

また年度の途中からではあるが, 統計数理研究所の土谷隆教授にCOE特任(併任)教授として本プロジェクトに加わっていただくことができた。土谷氏は内点法を中心とする連続的手法を用いた離散最適化分野の第一人者で, 本プロジェクトで力点を置いている連続と離散の融合に関して貢献していただくことを期待している。

4 研究速報の発行

本プロジェクトでは, 研究成果を発表するための速報シリーズ Superrobust Computation Technical Report (SRC-TR) を発行している。本年度は, 2月6日現在までに, SRC-TR 2003-14~46, SRC-TR 2004-1~5の38編を発行した。

その中で, 国際的共同研究の成果をまとめたものを抜粋すると, 次のとおりである。

- SRC-TR 2003-21 Kiminori MATSUZAKI, Zhenjiang HU, and Masato TAKEICHI, Parallelization with Tree Skeletons, 14pp., May 2003.
- SRC-TR 2003-22 Yo SHEENA and Akimichi TAKEMURA, An asymptotic expansion of Wishart distribution when the population eigenvalues are infinitely dispersed, 37pp., June 2003.
- SRC-TR 2003-26 Jonathan TAYLOR, Akimichi TAKEMURA and Robert ADLERT, Validity of the expected Euler characteristic heuristic, 29pp., August 2003.
- SRC-TR 2003-27 Tetsuya IWASAKI and Shinji

HARA, Generalized KYP Lemma: Unified Characterization of Frequency Domain Inequalities with Applications to System Design, 44pp., August 2003.

SRCTR 2003-30 Kazuo MUROTA and Hiroo SAITO and Robert WEISMANTEL, Optimality criterion for a class of nonlinear integer programs, 6pp., August 2003.

SRCTR 2003-33: K. Sugihara, M. Sawai, H. Sano, D.-S. Kim, and D. Kim, Disk Packing for the Estimation of the Size of a Wire Bundle, 22pp., September 2003.

SRCTR 2003-37 Tetsuya IWASAKI and Shinji HARA, Static Gain Feedback Control Synthesis with General Frequency Domain Specifications, 17pp., October 2003.

5 超ロバスト計算原理ミュージアム

本プロジェクトの対象である計算は目に見えないために、外部の人に理解してもらうのが難しい。これを克服するために、計算の原理をわかりやすく解説するためのミュージアムを開設した。ここには、研究成果や、本プロジェクトの概要などを表すビデオ、デモテープ、デモソフト、パネルなどを常設している。さらに、研究速報 (SRC-TR) シリーズ、国際シンポジウム論文集、主要著書なども展示している。

最近では、ロバストな無反射境界条件の新しい設定法を紹介するデモプログラム、視覚復号型秘密分散システムのデモシート、離散凸関数の分解定理を示す展示物、時系列の異常性検出アルゴリズムの実装例、数式処理システムを利用したロバスト制御方式のデモプログラムなどが整備されつつある。

6 受賞

本プロジェクト参加者の本年度の受賞は多数あるが、その中で特筆すべきものの一つは次のものである。

岩田覚: Fulkerson Prize 「A Combinatorial Strongly Polynomial Algorithm for Minimizing Submodular Functions」, 2003年8月18日。

この賞は、本年8月にデンマークのコペンハーゲンで開かれた第18回数理計画法国際シンポジウムの席で発表された。かねてから評価の高かった劣モジュラ関数最小化に関する論文が対象であった。この賞は離散最適化に関する理論的貢献に対して、国際数理計画法学会とアメリカ数学会によって授与される国際賞で日本人では初の受賞である。

本プロジェクトでは、この受賞を記念して次のように受賞記念講演会を開催した。

岩田助教授 Fulkerson Prize 受賞記念講演会

時: 2003年10月15日(水) 16:30-18:00

所: 東京大学本郷キャンパス工学部6号館3階セミナー室 A, D

講演題目: 劣モジュラ関数と離散最適化

講演者: 岩田覚 (東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻助教授)

7 国際シンポジウム

国際的研究拠点作りの一環として、本プロジェクトでは次の国際シンポジウムを開催した。

開催日時: 2003年6月16日~17日

場所: 東京大学工学部6号館セミナー室 A

名称: Workshop on Robust Optimization and Control

参加人数: 64名(うち外国人参加者3名)

主な招待講演者名: Stephen Boyd (Professor, Department of Electrical Engineering, Stanford University), Robert Weismantel (Professor, Department of Mathematics, Otto-von-Guericke-University of Magdeburg), Tetsuya Iwasaki (Assistant Professor, Department of Mechanical & Aerospace Engineering, University of Virginia).

開催日時: 平成15年9月2日(火)~3日(水)10時00分~17時00分

場所: 新島会館(京都市)

会議名: 量子情報理論に関するCOEワークショップ (COE Workshop on Quantum Information Theory)

参加人数: 129名 (うち外国人参加数 64名)

主な招聘講演者名: Koenraad Audenaert (Lecturer, University of Wales), Patrick M. Hayden (Researcher, Institute for Quantum Information California Institute of Technology), Michael Marc Wolf (Researcher, Max-Planck-Institute for Quantum Optics).

8 今後の活動方針

アルゴリズム, 不確実性のモデル化, 最適化/制御, 新計算原理の四つの研究グループのもとでの九つのサブプロジェクトをそれぞれ推進するとともに, それらの研究交流を通して, 分野横断的なロバスト計算の汎用原理を体系化し, 実世界情報処理を支える超ロバスト計算原理を確立する。そのために, 平成16年度には, それまでに開発した各種の超ロバスト計算手法を, 実問題へ適用するためのアプリケーション手法を開発する。平成17年度には, 超ロバスト計算原理に基づいた各種アプリケーション手法を実装してアプリケーションシステムを作り, それを実世界情報処理の諸問題へ適用して評価する。そして, 平成18年度には, サブプロジェクトの研究成果の総合的な評価と, 分野横断的な超ロバスト計算原理の体系化を行う。

また, 各年度を通して, 異分野交流セミナー, 問題発掘セミナーを頻繁に開催し, ロバスト計算諸手法の背景にあると確信している三つの汎用原理, すなわち, 構造一貫性確保の原理, 不確実性のモデル化の原理, 不安定素子のアモルファス結合の原理を, 広い分野で顕在化させ, 原理としての有効範囲の拡張を行う。

実世界に発生する各種の外乱に対しても安定に動作する計算手法は, 情報化社会のいたるところで切望されている技術であるが, その国際拠点となるためには, いたずらに分野を広げるのではなく, 的を絞った拠点作りが必要である。そのた

め, 本プロジェクトでは, サブプロジェクトごと, および少数のサブプロジェクトの融合分野に絞った国際シンポジウムを多数回開催するという形で, 拠点作りをすすめる。すでに, そのような国際シンポジウムを4回開催してきたが, 平成16年度には, 超ロバスト幾何計算, プログラム計算などに関する国際シンポジウム, 17年度には不確実性のモデル化等に関する国際シンポジウムを順次開催していく。さらに, ロバスト計算を推進している海外の研究者の招聘も頻繁に行って, 国際拠点としての機能を恒常的なものにする。

それらに加えて, 本プロジェクトで構築する超ロバスト計算原理の他分野への発信と啓蒙を, 超ロバスト計算原理ミュージアムを中心に行う。これは, 専門家のための拠点となるだけではなく, 超ロバスト計算原理を必要とする実世界情報処理分野の現場技術者の駆け込み寺としての機能ももたせるもので, この活動によって, フリーズの心配のない情報処理システムを普及するための社会貢献拠点として機能も目指す。