

# 最適化/制御活動グループ

室田一雄

情報理工学系研究科数理情報学専攻

## 1 はじめに

本グループの活動目的は、最適化と制御の分野において、「連続と離散の接点」および「物理世界と情報世界の接点」に現れる様々な局面を取り扱うための手法の創出である。さらに、最適化と制御の研究者の緊密な連携によって、超ロバスト計算原理の中核となる理論と技術を提供することを目指している。

各テーマにおいて、最適化と制御の両分野のメンバーによって、新たな成果が得られている。これらの詳細は、論文誌等での掲載に先立って、テクニカルレポートとして公開している。本年度は、23編のテクニカルレポートを発行した。

関連する成果に対する本年度の受賞を挙げる。

- 計測自動制御学会学会賞 (教育貢献賞): 原辰次.
- 計測自動制御学会学会賞 (論文賞): 山本直樹 (カリフォルニア工科大), 津村幸治, 原辰次.
- 日本オペレーションズ・リサーチ学会学生論文賞: 垣村尚徳 (指導教員: 岩田覚), 小林祐輔 (指導教員: 岩田覚), 永野清仁 (指導教員: 松井知己).

本グループでは、日常的な研究活動の中核をなすものとして、「最適化/制御セミナー」を行っている。本年度は、昨年度と同様に10回のセミナーを開催し、どのセミナーにおいても出席者間の活発な議論が行われた。

## 2 研究内容

### 2.1 離散・連続ハイブリッド最適化

#### ジャンプシステム上のM凸関数

M凸関数は、効率良く解ける非線形離散最適化問題の枠組を与えているが、本研究ではM凸関数の概念を定パリティジャンプシステム上の関数に一般化し、その最小化のための最急降下型アルゴリズムを提案した。これによって、ApollonioとSebóによって2004年に考察されたグラフの最小二乗因子問題に対する一般的枠組が与えられたことになる。現在までに、マトロイド、基多面体、デルタマトロイド、ジャンプシステムなどの上の離散関数に対してM凸関数の概念が定義され、アルゴリズムが設計されている。

#### 多重彩色問題とチャネル割当問題

本研究では、グラフ彩色問題の拡張である多重彩色問題とチャネル割当問題に対する近似解法の枠組みを提案する。この枠組みを種々のグラフクラスに適用することにより、理論的な近似精度及び必要計算量等を得ることができる。取り扱っている2つの問題は、携帯電話ネットワークや災害時の緊急無線網等における基地局への周波数割り当ての際扱われる問題である。本研究で提案する解法に共通する特徴として、パーフェクトグラフと呼ばれる数学的に美しい構造を持つグラフクラスの特徴を積極的に用いている事が挙げられる。

## スポーツ対戦日程表作成問題

スポーツの対戦日程表の作成において、ホームアウェイゲームを決定する問題は、最大カット問題やMIN 2SAT問題と密接に関わりがあることが、最近の研究で判明してきた。これらの問題には半正定値計画緩和や、従属丸め法等の手法が最近開発されており、理論的にも最新のトピックである。この研究では、ホームアウェイゲームを決定する問題に対し、半正定値計画緩和や従属丸め法を用いた解法を構築し、かつ計算機実験を行った。これらの解法の性能について議論を行った。

## 待ち行列ネットワークの解析法

待ち行列ネットワークの基本的なモデルであるジャクソンネットワークにおいて、その性能を解析するためには、顧客の定常分布に対する分配関数を計算する必要がある。これまで提案されてきた解法の多くは、動的計画に基づく擬多項式時間解法であった。これに対し本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法に基づく、多項式時間近似解法の提案を行った。この解法を構築するために、多項式時間サンプリング法と、近似率を保証するモンテカルロ法の2つを提案している。

## 符号可解線形計画の組合せ的解法

線形計画問題において、入力要素の符号情報だけから、最適解の符号パターンが定まる条件を検討し、効率的に検証可能な十分条件として、完全符号正則性の概念を導入した。さらに、この条件を満たす線形計画問題に対して、最適基底解の符号パターンを効率的に見出す組合せ的アルゴリズムを設計した。

## 時間高精度保存・散逸スキーム

保存則、あるいは散逸則を持つ微分方程式に対して、それらを離散系でも再現する数値計算法がいくつか知られているが、時間方向の精度はこれまで最大でも6次であった。本研究では、一般化

後退差分公式 (GBDF) のアイデアを援用することで、任意の高次保存・散逸解法を構築する方法を提案した。

## 2.2 物理・情報デュアル制御

### 有限周波数特性に基づく動的システムの設計

本研究ではこれまで、最適制御、ロバスト制御、適応制御などシステム制御理論の展開において非常に大きな役割を果たしてきたKYP (Kalman-Yakubovič-Popov) 補題を一般化し、線形時不変系に対する有限周波数特性を統一した形式 (線形行列不等式) で特徴付け、新しい動的システムの設計法を提案してきた。本年度はより実用的な設計への適用を目指し、デジタル制御系設計、動的出力フィードバック設計への展開を考えた。それぞれに対応する設計条件を導出し、数値例により実用性を確認した。

なお、本研究はヴァージニア大学の岩崎徹也氏との共同研究である。

### 量子ダイナミクスの制御

本研究では、量子情報機器実現のための基礎とすべく、量子ダイナミクスのための制御理論の構築とその実用を目指している。本年度は、連続測定下の量子ダイナミクスを表すマスター方程式について、方程式の構造を保ちながら、可到達性・可観測性解析を行うための表現形式と演算子を提案し、それに基づく解析を行った。また低次元量子スピン系について、可到達性・可観測性および安定化についての結果を得た。

なお、本研究はカリフォルニア工科大学の山本直樹氏との共同研究である。

### 量子化データを用いたシステム同定

本研究の目的は、量子化された入出力データを用いたシステムパラメタの推定問題において、最も粗い量子化器を求めることである。これまで入出力データの生成から同定誤差の評価まで、全て

確率的アプローチに従い、導出される最適量子化器の特性を議論した。本年度は、入出力データ列から得られる同定誤差の hard bound を扱うという点で、混合確率的・確定的アプローチに従った解析を進めた。最適量子化器の特性を調べ、それが安定化のための最適量子化器と、確率的アプローチに従った同定のための最適量子化器との混合型になることが明らかになった。

### ロバスト半正定値計画問題の領域分割型解法

ロバスト半正定値計画問題は、ロバスト制御やゲインスケジュールド制御の多くの問題がそれに帰着されるという制御において重要な問題であり、多項式最適化を特殊な場合として含むため最適化においても重要である。本研究では、ロバスト半正定値計画問題を解く領域分割型の解法を提案し、それが既存の解法にはない性質、つまり近似誤差を領域分割の細かさの関数として評価できるという性質を持つことを示した。

## 3 最適化/制御セミナー

5月9日(月) 15:30–17:00

Jan C. Willems (Katholic Univ. Leuven),  
“Distributed Dissipative Systems.”

5月25日(水) 16:00–18:00

Ruriko Yoshida (Duke University),  
“Applications of Short Rational Functions to Solving Integer Programming Problems.”

7月11日(月) 15:00–16:30

岩崎 徹也 (University of Virginia),  
“Feedback Control Synthesis with General Frequency Domain Specifications.”

7月20日(水) 16:00–17:00

Leonid Faybusovich (Univ. Notre Dame),  
“Jordan-Algebraic Approach to Convexity Theorems for Quadratic Mappings.”

8月3日(水) 16:00–17:00

Nicholas Harvey (MIT),  
“Network Coding: A New Direction in Combinatorial Optimization.”

12月5日(月) 10:30–12:00

Sandra Hirche (東京工業大学),  
“Networked Telepresence and Control Systems — Stability and Performance Issues.”

12月8日(木) 16:00–18:00

Utz-Uwe Haus (University of Magdeburg),  
“Methods from Discrete Mathematics for the Synthesis and Control of Chemical Processes.”

1月17日(火) 13:00–15:00

Franz Rendl (University of Klagenfurt),  
“A Boundary Point Method to Solve Semidefinite Programs.”

2月22日(水) 16:00–18:00

Marek Karpinski (University of Bonn),  
“Approximation Schemes for Some Partitioning Problems.”

3月7日(火) 13:00–15:00

Girish Nair (University of Melbourne),  
“An Introduction to Data Rate Constraints in Feedback Control.”

## 4 テクニカルレポート

**METR 2005-07** A. Suzuka, R. Miyashiro, A. Yoshise and T. Matsui: Semidefinite Programming Based Approaches to Home-away Assignment Problems in Sports Scheduling.

**METR 2005-12** S. Kijima and T. Matsui: Polynomial-time Randomized Approximation and Perfect Sampler for Closed Jackson Networks with Single Servers.

- METR 2005-15** K. Murota and K. Tanaka: A Steepest Descent Algorithm for M-convex Functions on Jump Systems.
- METR 2005-16** S. Iwata and Y. Kobayashi: An Algorithm for Minimum Cost Arc-Connectivity Orientations.
- METR 2005-18** S. Hara, T. Iwasaki and D. Shiokata: Robust PID Control via Generalized KYP Synthesis.
- METR 2005-19** T. Matsuo: Arbitrary High-order Conservative or Dissipative Method for Ordinary Differential Equations and its Block Algorithm.
- METR 2005-24** H. Hirai, K. Murota and M. Rikitoku: Electric Network Classifiers for Semi-Supervised Learning on Graphs.
- METR 2005-26** M. Takamatsu, Y. Oishi and K. Hirata: Analysis of a Nonlinear System Using Interval Arithmetic: Computation of an Output Admissible Set.
- METR 2005-27** A. Suzuka, R. Miyashiro, A. Yoshise and T. Matsui: Dependent Randomized Rounding to the Home-away Assignment Problem in Sports Scheduling.
- METR 2005-28** Y. Miyashiro and T. Matsui: Approximation Algorithms for Minimum Span Channel Assignment Problems.
- METR 2005-29** T. Itoko and S. Iwata: Computational Geometric Approach to Submodular Function Minimization for Multi-class Queueing Systems.
- METR 2005-37** T. Matsuo: New Conservative Schemes with Discrete Variational Derivatives for Nonlinear Wave Equations.
- METR 2005-40** H. Saito and K. Murota: Benders Decomposition Approach to Robust Mixed Integer Programming.
- METR 2006-02** K. Ikeda, K. Murota, A. Yanagimoto and H. Noguchi: Improvement of the Scaled Corrector Method for Bifurcation Analysis Using Symmetry-Exploiting Block-Diagonalization.
- METR 2006-04** H. Ishii, C. Ohyama and K. Tsumura: Performance Analysis of Control Systems under Limited Data Rates.
- METR 2006-05** A. Suzuka, R. Miyashiro, A. Yoshise and T. Matsui: The Home-Away Assignment Problems and Break Minimization/Maximization Problems in Sports Scheduling.
- METR 2006-06** T. Iwasaki and S. Hara: Dynamic Output Feedback Synthesis with General Frequency Domain Specifications.
- METR 2006-07** K. Tsumura: Optimal Quantizer for Mixed Probabilistic/Deterministic Parameter Estimation.
- METR 2006-08** T. Hayakawa, H. Ishii and K. Tsumura: Adaptive Quantized Control for Nonlinear Uncertain Systems.
- METR 2006-09** T. Matsui, M. Motoki, N. Kamatani and S. Kijima: Polynomial Time Approximate/Perfect Samplers for Discretized Dirichlet Distribution.
- METR 2006-10** Y. Oishi: A Region-Dividing Approach to Robust Semidefinite Programming and Its Error Bound.
- METR 2006-11** T. Bakhtiar and S. Hara: H2 Regulation Performance Limitations for SIMO Linear Time-invariant Feedback Control Systems.
- METR 2006-13** Y. Kobayashi, K. Murota and K. Tanaka: Operations on M-convex Functions on Jump Systems.