

アルゴリズム活動グループ

山本博資

新領域創成科学研究科複雑理工学専攻

1 はじめに

コンピュータや通信回線の高速化大容量化が進むと共に、インターネット網・携帯電話・デジタルテレビ放送などの充実により、ユビキタスな環境で行政やビジネスのさまざまなサービスを楽しんだり、家電製品などの身近な機器をネットワークを通してアクセスするなど、ユビキタスコンピューティング社会が実現しようとしている。しかし、このようにコンピュータやネットワークに大きく依存した社会では、ひとたびそれらに障害が生じると社会全体に多大な損害をもたらすことになる。これらの障害はハード的なもの起因する場合もあるが、使用されているソフトウェアやアルゴリズムの脆弱さに起因する場合が多い。例えば、デジタル計算機における有限精度計算による誤差、ネットワーク環境における負荷変動、通信路の雑音、実際の対象とそれらを抽象化したモデルとの不整合など、さまざまな要因がアルゴリズムの動作を不安定にする可能性がある。

アルゴリズム活動グループでは、「計算機、ソフトウェア、通信、応用」などのさまざまな分野におけるアルゴリズムを研究対象として取り上げ、上記のような不安定要因を詳しく調べると共に、それらの不安定要因が存在しても、ロバストに安全に動作するアルゴリズムの開発を目指している。

具体的には、高速な並列計算をロバストに実現するための「超ロバスト並列計算」、ロバストで効率的な構造化文書処理を実現するための「ロバスト構造化文書処理技術」、ロバストに安全で高品質高効率な通信や記録システムを実現するための「符号化におけるロバスト計算」、ロバストな幾何計算を目指す「超ロバスト幾何計算」の4つのサ

ブプロジェクトを設け、各サブグループごとに研究を進めている。次節以降で、各サブプロジェクトの本年度の研究成果と、本グループの活動内容の概要を報告する。なお、詳細は各サブプロジェクトの報告書を参照して欲しい。

2 本年度の成果の概要

2.1 超ロバスト並列計算

研究者：小柳義夫，須田礼仁，西田晃
(情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻)

目的：グリッドのようにネットワークや計算機の構成・性能が動的に変動する並列計算機において、資源の故障や追加、負荷の変動などの外乱に対してロバストに適応し、計算能力を効率よく引き出す手法を開発する。数値アルゴリズムと並列化手法の両面から性能のロバストネスを導く。

成果：並列計算機が多様化し、ネットワークの性能・トポロジーが不均一である場合が多い。そのため、不均一な環境において負荷をプロセッサに効率よく割り当てるロバストデータマッピングが必要となる。本研究では、従来手法の問題点を解決するために、枝に通信すべきデータが関連付けられている計算グラフを定義し、各資源のバンド幅で通信のモデル化を行った。また、計算グラフを再帰的に二分割することによりネットワーク構造に適したデータ分割を可能とし、個々の資源によって伝送されるデータ量を抑える点を考慮して、通信コストを最小化する手法を提案した。さ

らに、提案手法を生体分子の分子動力学法プログラム MolTreC2-DM に実装し、その有効性を明らかにした。

多数の計算機を用いた並列計算中に1台計算機が故障しても、ロバストに計算を続けられる必要がある。本研究では、故障の検出と回復をシステムが自動的に行うが、その方法はアプリケーションプログラムから柔軟に制御できる方式を提案した。具体的には、計算機全体を幾つかのドメインに分割し、ドメイン間の情報の流れをログとして保存する「ドメイン境界ログ」を用いる方式である。提案方式の正当性の確認と、システム・アプリケーションの構築の例証のためにプロトタイプシステムを開発し、その有効性を実証した。

2.2 ロバスト構造化文書処理技術

研究者：武市正人，胡振江，筧一彦
(情報理工学系研究科 数理情報学専攻)

目的：XML に代表される構造化文書のなかにプログラムの記述を許し、関数プログラミングおよびプログラム変換手法を適用することにより、ロバストでかつ効率的な構造化文書処理が行える Programmable Structured Document (PSD) の手法を提案し、堅牢な文書作成の方法論を構築する。

成果：PSD の有効性を実証するためのアプリケーション事例として、表計算を木構造へ拡張した TreeCalc を取り上げ、剪定木 DOM および応需 DOM という2つの PSD プラットフォーム向けの汎用 DOM インターフェースの提案および実装を行った。剪定木 DOM では、XML が構造化された文書であることを利用して、コードの評価に必要な部分に関する記述を文書自身に統合し、それを XML エディタ側で解釈することによって、不必要なデータのやり取りを回避している。他方、応需 DOM は、外部評価系と XML エディタの間に介在し、計算に必要となった部分のみを

そのときに応じて DOM より取得し外部評価系に渡すことで不必要なデータのやり取りと回避している。

また、XML 文書の編集ためには、ソースと View との間で双方向に変換可能な言語が必要となるが、そのような言語として Inv を提案し、XML 文書のための構造化エディタの校正が可能であることを確認した。また、XML 編集に利用されている HaXML と呼ばれる特定領域言語で行い得る操作は全て、双方向変換言語の構成要素の組み合わせによって表現可能であることを示した。

2.3 符号化におけるロバスト計算

研究者：山本博資¹，小川朋宏²
(新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻¹)
(情報理工学系研究科 数理情報学専攻²)

目的：情報源や通信路の特性、不正者からの攻撃方法、あるいは計算機の計算精度などによらず、ロバストに「安全、高品質、高効率」な情報伝送が可能となる符号化技術の開発を目的とする。

成果：固定長-可変長符号 (FV 符号) は、ハフマン符号を始めとするデータ圧縮符号の基本的な符号のクラスであるが、符号語にビット誤りが生じると符号語の区切りがわからなくなり、復号誤り伝播が生じるという欠点がある。しかし、FV 符号に同期系列が存在すると、復号誤り伝播を終わらせることができる。本研究では、FV 符号木の同期系列および2つの FV 符号木の共通同期系列の効率のより導出法を提案した。さらに、同期系列を持たない FV 符号木の特徴付けを行った。

情報セキュリティに関しては、一般アクセス構造に対する強いランブ型秘密分散法の構成法を与えた。また、盗聴通信路を通して安全に伝送できる情報量の上限はセキュリティ通信路容量とよばれ、通常の通信路容量より小さくなるが、互いに確率的に独立な複数の情報を多重符号化して送信することにより、

個々の伝送情報を安全に保ったまま，トータルの伝送情報量を通信路容量まで増やすことができることを示した．さらに，シャノン暗号システムで，推測回数に基づく安全性指標を用いて，相関のある情報を伝送する場合の符号化定理を証明した．

2.4 超口バスト幾何計算

研究者：杉原厚吉，西田徹志，松浦史郎
(情報理工学系研究科 数理情報学専攻)

目的：幾何アルゴリズムは，数値計算誤差により位相構造の判定を誤ると，ユークリッド幾何ではあり得ない状況に陥り破綻する可能性がある．そのため，幾何アルゴリズムは一般に数値誤差に脆弱であるが，本研究では数値誤差が存在しても，破綻することなく動作する口バストなソフトウェアの設計法の開発を目的としている．

成果：ユークリッド幾何における位相構造の一貫性を数値情報より優先する「位相優先法」を以前から開発しているが，それを初心者でも使えるやさしいアルゴリズム設計法に改良した．つまり，問題の解のデジタル画像近似を求め，そこから位相構造を取り出して，最後にその位相構造に基づいて解を計算するデジタル位相優先法を提案し，そのアイデアを特許申請すると共に，ユークリッド距離円ポロノイ図の構成アルゴリズムなどに適用し，その有効性を確認した．

また，2次元水面上のボート航行距離(ボートが始点から終点へ動くのにかかる最短時間)を求める問題を，時間項を含まない偏微分方程式の境界値問題に帰着し，その効率的かつ安定に解くことができる拡張 Fast Marching 法を考案した．

さらに，「長方形詰め込み問題に対して，局所探索法・動的計画法に基づく実用的近似解法の開発」「波のシミュレーションなどで用いられる Navier-Stokes 方程式に対して，流れ

の多様性，人的ミス，実装時の離散化等に対して口バストな超口バスト無反射境界の提案」「特異スペクトル分析 (SSA) を拡張し，任意の立体形に対して適用できる多次元スペクトル分解法である拡張 SSA の提案」「立体の細分割において，頂点以外の幾何構成要素である面や稜の更新作業によって実現できる細分割曲面法の開発」などの成果を得た．

3 その他の活動

3.1 研究集会等

本年度，アルゴリズム活動グループの研究活動に関連して開催した研究集会等を下記に報告する．

(A) 国際シンポジウム：

COE International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering

日時：2004年9月13日(月)–15日(水)

会場：東京大学工学部6号館

招待講演2件，一般講演22件，参加者数約70名

(B) ワークショップ：

The Third Workshop on Programmable Structured Documents

日時：2005年1月26日(水)–28日(金)

会場：横浜市開港記念会館

招聘者6名，参加者数約30名

(C) セミナー：

1. 自然近傍補間と有限要素法の関係

講演者：日吉久礎(群馬大学工学部)

日時：2004年7月14日(水)15時~16時

会場：東京大学工学部6号館364号室

2. Adaptive Mesh Generation for Real-Time Terrain Modeling

講演者：Marina Gavrilova (University of Calgary)

日時：2004年9月10日(金)15時~16時

会場：東京大学工学部6号館セミナー室A

3. Sampling and Meshing a Surface with Guaranteed Topology and Geometry

講演者：Siu-Wing Cheng (香港科学技術大学)
日時：2004年11月24日(水)16時~17時
会場：東京大学工学部6号館セミナー室A

4. Multiscale Geometric Models for Simulation and Visualization

講演者：Chandrajit Bajaj (University of Texas at Austin)

日時：2004年12月7日(火)16時~17時
会場：東京大学工学部6号館64号講義室

これらの研究集会には、「アルゴリズム活動グループ」だけでなく、「超ロバスト計算プロジェクト」の他のグループや、本COEの他のプロジェクトである「実世界情報システムプロジェクト」「大域ディペンダブル情報基盤プロジェクト」等からも多くの参加者を得て、グループ間およびプロジェクト間の研究交流としても役立っている。

3.2 テクニカルレポート

本年度、アルゴリズム活動グループの研究活動に関連して、下記のテクニカルレポートを発表した。なお、これらのテクニカルレポートだけでなく、学術論文誌、国際シンポジウム、学会等の大会や研究会などにおいても、成果を多数発表している。それらは、各サブプロジェクトの報告で紹介されている。

1. (SRCTR 2004-02) Hisamoto HIYOSHI and Kokichi SUGIHARA, "Improving the Global Continuity of the Natural Neighbor Interpolation," January 2004.
2. (SRCTR 2004-06) Frederic LOULERGUE, Zhenjiang HU and Kazuhiko KAKEHI, "A Tutorial Implementation of the Diffusion Algorithmic Skeleton with the BSMLlib Library," February 2004.
3. (SRCTR 2004-16) Tetsushi NISHIDA and Kokichi SUGIHARA, "Voronoi Diagram with a Snowmobile Distance," March 2004.
4. (SRCTR 2004-17) Kohei MUROTANI and Kokichi SUGIHARA, "Generalized SSA and Its Applications to Watermarking 3D Polygonal Meshes," March 2004.

5. (SRCTR 2004-20) Hiroshi KAWAHARADA and Kokichi SUGIHARA, "Dual Subdivision (a new class of subdivision schemes using polar transformation)," April 2004.
6. (SRCTR 2004-44) Takaharu YAGUCHI and Kokichi SUGIHARA, "An Extension of Hedstrom's Nonreflecting Boundary Condition to Non Simple Wave Solutions," November 2004.
7. (SRCTR 2004-45) Takaharu YAGUCHI and Kokichi SUGIHARA, "A New Characteristic Nonreflecting Boundary Condition for Multidimensional Navier-Stokes Equations," November 2004.
8. (SRCTR 2004-48) Kokichi SUGIHARA and Shiro Matuura, "Use of Digital Topology for Robust Geometric Computation," December 2004.
9. (SRCTR 2005-01) Hiroshi Kawaharada and Kokichi SUGIHARA, "Dual Subdivision (a new class of subdivision schemes using projective duality)," January 2005.
10. (SRCTR 2005-02) Hiroshi Wawaharada and Kokichi SUGIHARA, "Line Subdivision," January 2005.

3.3 超ロバスト計算原理講究

大学院情報理工学系研究科では、大学院学生への講義として「超ロバスト計算原理講究」が開講されているが、そのうち、アルゴリズム活動グループでは下記の者が講義を担当した。

杉原厚吉(4月14日)、今堀慎治(6月16日)、杉原厚吉・室谷浩平(RA)(7月14日)、杉原厚吉・川原田寛(RA)(10月6日)、杉原幸吉・蓬萊雄一郎(RA)(12月8日)、杉原厚吉・谷口隆晴(RA)(12月22日)

3.4 超ロバスト計算原理ミュージアムにおける展示

他分野の情報処理技術との積極的な融合を促進するために、本研究グループの研究内容を分野外の人にも分かりやすく説明した展示パネルを、昨年引き続き、超ロバスト計算原理ミュージアムにおいて展示し、研究内容の紹介を行っている。