

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18700219
 研究課題名（和文） 遺伝子解析に基づく大規模並列進化計算による設計最適化
 研究課題名（英文） Design Optimization using Large-Scaled Parallel Evolutionary Algorithms with Gene Analysis
 研究代表者
 棟朝 雅晴 (MASAHARU MUNETOMO)
 北海道大学情報基盤センター・准教授
 研究者番号：00281783

研究成果の概要：本研究においては、遺伝子解析による高度な進化計算アルゴリズムを大規模並列化するとともに、グリッドコンピューティングシステムなど最新の大規模並列計算環境における実装を行った。さらには、最適化問題を解きたい設計者の有するシミュレーションプログラムとの連携を容易に行うためのフレームワークを提案することで、大規模かつ複雑な現実の設計問題、最適化問題を解決するための基盤となるシステムのプロトタイプを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	300,000	3,800,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遺伝的アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

Wolpert らによる NFL 定理において、すべての可能な最適化問題に対する平均最適化性能は、すべての逐次的なアルゴリズムに対して同一となることが示されており、進化計算を含む最適化アルゴリズムにおいて、すべての問題を効率良く解くことのできる「万能な」アルゴリズムは存在しない。

しかしながら、すべての問題といった場合には解くことに意味がないような問題も多数含まれており、現実の意味のある問題クラスに対して安定した性能を有する最適

化アルゴリズムとして、遺伝的アルゴリズム等の進化計算が注目されているところである。また、NFL 定理における結果から、最適化アルゴリズムの性能と汎用性の間にはトレードオフがあることが示されている。すなわち、適用範囲を広くするためにはある程度の計算コストがかかり、結果として性能が低下するが、逆に言うと最適化のピーク性能を上げるためには、適用範囲を限る必要がある。

我々の研究目標は、できる限り現実問題をカバーする安定した性能を有する進化計算アルゴリズムを実現し、それに要するオ

ーバーヘッドについては、大規模並列化を行うことで、実用的な時間内に、実用的な解を得ることのできる、大規模並列進化計算アルゴリズムを実現し、設計最適化への応用をはかるところにある。

2. 研究の目的

本研究では、リンクージ同定や分布推定などの遺伝子解析を導入した進化的計算手法の高度化および大規模並列化を行うことで、広範囲な問題に実用的な計算時間で適用可能な最適化アルゴリズムを開発するとともに、大規模シミュレーションと併用することで、研究開発過程における人手による試行錯誤のプロセスを自動化する枠組みを構築する。

具体的な研究目標としては、はじめに、これまで研究をすすめてきたリンクージ同定に基づく遺伝子解析による進化計算手法(図1)を発展させ、確率分布の推定によるモデル構築を取り入れた、より汎用的で高度な進化計算アルゴリズムの開発を行う。

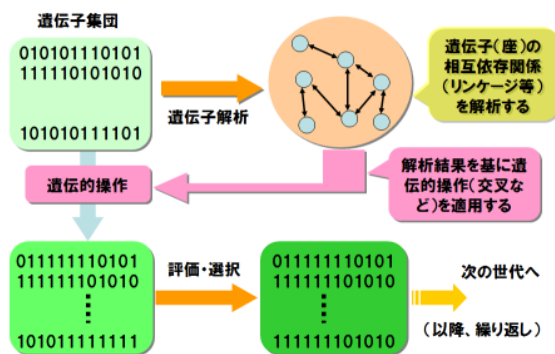


図1 遺伝子解析による進化計算

これまでも、分布推定による最適化アルゴリズム (Estimation of Distribution Algorithm, EDA)に関する研究が行われているが[2]、従来の手法においては集団から上位個体を選択し、それら遺伝子の表面的な確率分布を観測することで最適化のための情報を抽出している。一方、本研究においては、単なる上位個体の選択ではなく、それら間で重みをつけることでより正確な情報を抽出することを目指すとともに、さらに最適化に必要な情報を獲得するため、これまでに我々が研究してきたリンクージ同定に基づく遺伝的アルゴリズムなどを参考にして、それら個体の遺伝子に対して摂動を与えるなど必要な操作や前処理を行った後に分布の推定を行う点にその新規性がある。

次に、開発された進化計算手法の並列化を行う。これまでもリンクージ同定手法の並

列化などの研究を行ってきたが、単純な並列化にとどまっていた。それらの成果を踏まえつつ、遺伝子情報に関する複雑な構造を適切に分割して並列に計算する手法の開発を行う。並列化されたアルゴリズムの実行環境として、スーパーコンピュータなど従来型の並列計算機に加えて、グリッドコンピューティングシステムなどのネットワークを介した疎結合の並列実行環境を視野にいたれたアルゴリズムおよびシステムの開発を行う。最終目標として、大規模な設計問題を各種シミュレーションプログラムと協調させて、人間の試行錯誤に依存することなく問題を解くことのできる枠組みの構築を目指す。

3. 研究の方法

最初に、研究代表者らがこれまでに開発してきたリンクージ同定など遺伝子解析による遺伝的アルゴリズムを発展させ、より詳細な解析を行うとともに、分布推定など新たな考え方を取り入れた手法の開発を行った。リンクージ同定による遺伝的アルゴリズムでは、遺伝子の摂動による適応度への影響が線形か非線形か、または、単調か非単調かを判定することで、それぞれ関連する遺伝子の位置を同定していた。本研究においては、従来のアプローチを踏まえ、EDAで採用されている遺伝子集団における遺伝子の確率分布、さらには適応度差分を計算するなど前処理を行ったデータの確率分布を観測し、その構造を推定する手法へと拡張した。

また、現実の最適化問題の解決においては、大域的な探索を進化計算などの大域的探索手法を用いて行い、局所的な探索を丘登り法、疑似焼きなまし法などの局所探索により行うというハイブリッド型のアプローチが多用されるため、本研究においてもそのような局所探索とのハイブリッド型の手法について、実用となる手法の開発を行った。

次に、提案した分布推定に基づく進化計算手法を並列化し、スーパーコンピュータ、グリッドコンピューティングシステムへの適用を行った。本研究においては新たな並列化の手法として、適応度差分の計算などの前処理や、分布推定プロセスを並列化し、その結果に基づく問題空間を分割して並列に最適化する手法を提案することで、従来の単に適応度計算を並列化する手法とは異なる手法を開発した。

さらに、グリッドコンピューティングシステムにおいて、利用者が有するシミュレーションプログラムと連携して大規模並列最適化を行うフレームワークを提案し、そのプロトタイプの実装を行った。

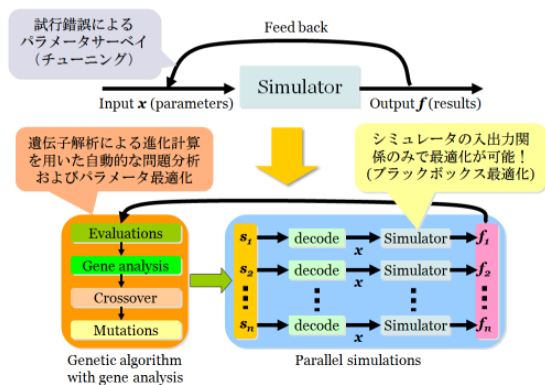


図2 大規模並列最適化のフレームワーク

提案するフレームワークの概要を図2に示す。設計者の有するシミュレータプログラムと連携し、それらを大規模並列実行し、その解と適応度値の入出力関係をもとに遺伝子解析に基づく並列進化計算を実行することで、人手を介することなく、自動的に設計最適化を行うフレームワークを実現している。

4. 研究成果

本研究の主な成果をその達成目標ごとに分類すると、以下のとおりとなる。

- (1) 遺伝子解析による進化計算の開発に関しては、リンクージ同定手法の考え方と、分布推定による手法との組み合わせによる手法である D5 と呼ばれる手法(雑誌論文②)を提案した。本手法では、リンクージ同定手法で用いられる摂動による適応度差分の情報を基にしたクラスタリングを行い、その遺伝子の確率分布を推定することで、それぞれのビルディングブロック(有用な部分解)の解全体への寄与度合に大きな差が存在する場合でも、有効な最適化を実現することができる。さらに、同定されたリンクージ情報に関して、それぞれのリンクージ集合に重複が存在する複雑な問題に対しても適用可能な交叉手法 CDC (Context Dependent Crossover)を提案した(雑誌論文③、学会発表②)。
- (2) 遺伝子解析による進化計算として、現実の問題においてよく用いられる実数値変数を前提とした実数値遺伝的アルゴリズムにおいて用いることのできるリンクージ同定手法を提案した(雑誌論文①)。
- (3) 現実の問題を解決する場合、大域的探索である遺伝的アルゴリズムと、局所探索を組み合わせ使用することが多い。本研究においても、遺伝子解析による進化計算手法と、局所探索を組み合わせるこ

とで、実用的な最適化を実現する手法の開発を行った(雑誌論文④、学会発表④、⑥、⑦、⑩)。

- (4) グリッド環境下における大規模並列化、問題解決システムの実装については、全体のフレームワークの提案(雑誌論文⑤、学会発表①)、並列リンクージ同定の実装および評価(学会発表⑧、⑬)、シミュレーションプログラムと最適化エンジンとのインターフェイス仕様に関する研究(学会発表⑬)、サービス志向コンピューティングとしての展開(学会発表⑱)について研究を行い、ポータルより最適化サービスを利用できるプロトタイプシステムを構築している(図3にそのポータル画面の一例を示す)。
- (5) その他、分布推定アルゴリズムのモデル構築の精度向上のための改良(雑誌論文⑥)、ネットワーク設計問題への適用(学会発表⑨)、適応度評価にノイズがある場合の対応への対応(学会発表③)問題の難しさに関する考察(学会発表⑤、⑦)などについても研究を行った。

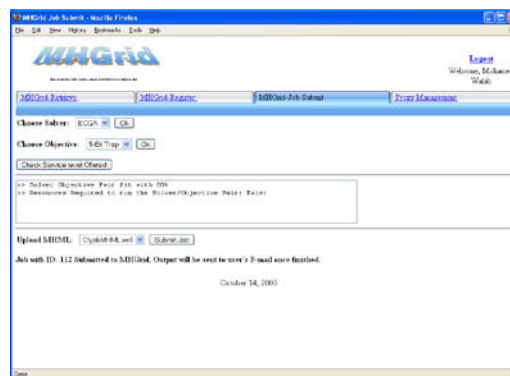


図3 開発したグリッド環境下における問題解決システムのプロトタイプシステムのポータル画面

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① Masaharu Munetomo, Naoya Murao, Kiyoshi Akama: Introducing Assignment Functions to Bayesian Optimization Algorithms, Information Sciences, Vol.178, No.1, pp.152-163, Elsevier (2008) 査読有
- ② 辻美和子, 棟朝雅晴, 赤間 清: 複雑なビルディングブロック重複を持つ問題に対する交叉手法の提案, 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol. 48, No. SIG15, pp. 23-33 (2007) 査読有

- ③ Masaharu Munetomo, Yuta Satake, Kiyoshi Akama: An Intelligent Scatter with Estimation of Distribution for Tabu Search, Computer Aided Systems Theory - EUROCAST2007, Lecture Notes in Computer Science 4739, pp.465-472 (2007) 査読有
- ④ Masaharu Munetomo, Asim Munawar, Kiyoshi Akama: A Framework of GRID Problem-Solving Environment Employing Robust Evolutionary Search, Computer Aided Systems Theory - EUROCAST2007, Lecture Notes in Computer Science 4739, pp.473-480, Springer (2007) 査読有
- ⑤ 手塚大, 棟朝雅晴, 赤間清: 目的関数の加法分解性および差分の符号独立性にもとづく実数値遺伝的アルゴリズムのリンケージ同定, 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol.47, No.SIG 14, pp.43-53 (2006) 査読有
- ⑥ Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Linkage Identification by Fitness Difference Clustering, Evolutionary Computation, Vol.14, No.4, pp.383-409, MIT Press (2006) 査読有

[学会発表] (計20件)

- ① Asim Munawar, Mohamed Wahib, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Solving Large Instances of Capacitated Vehicle Routing Problem over Cell BE, IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC-08), 2008年9月26日, Dalian, China
- ② Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Empirical Investigations on Parallel Competent Genetic Algorithms, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2008), 2008年7月14日, Atlanta, USA
- ③ Mohamed Wahib, Asim Munawar, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: A General Service-Oriented Grid Computing Framework For Global Optimization Problem Solving, Service Computing Conference SCC08, 2008年7月9日, Honolulu, USA
- ④ 佐竹佑太, 棟朝雅晴, 赤間清: 散布探索法を導入したBOAについての検討, 情報処理学会第68回数理モデル化と問題解決研究会, 2008年3月4日, 松山市
- ⑤ 棟朝雅晴: 進化計算におけるリンケージ同定について, 進化計算シンポジウム 2007, 2007年12月21日, 登別市
- ⑥ 辻美和子, 棟朝雅晴, 赤間清, リンケージ同定とコンテキスト依存交叉を用いた遺伝的アルゴリズムの並列化, 情報処理学会第67回数理モデル化と問題解決研究会, 2007年12月21日, 東京都
- ⑦ Asim Munawar, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Optimization problem solving framework employing GA with linkage identification over a GRID environment, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007年9月26日, Singapore
- ⑧ Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: A network design problem by a GA with linkage identification and recombination for overlapping building blocks, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), 2007年9月26日, Singapore
- ⑨ Asim Munawar, Mohamed Wahib, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Standardization of Interfaces for Meta-Heuristics based Problem Solving Framework over Grid Environment, HPC Asia 2007, 2007年9月12日, Seoul, Korea
- ⑩ Masaharu Munetomo, Yuta Satake, Kiyoshi Akama: On Hybridization of Bayesian Optimization and Tabu Search, Metaheuristics International Conference (MIC2007), 2007年6月28日, Montreal, Canada
- ⑪ 前田陽樹, 棟朝雅晴, 赤間清: 疑似焼き鈍し法を導入した分布推定アルゴリズムに関する検討, 情報処理学会第64回数理モデル化と問題解決研究会, 2007年5月17日, 大阪市
- ⑫ Masaharu Munetomo, Yuta Satake, Kiyoshi Akama: An Intelligent Scatter with Estimation of Distribution for Tabu Search, The Eleventh International Conference on Computer Aided Systems Theory (EUROCAST2007), 2007年2月14日, Gran Canaria, Spain
- ⑬ Masaharu Munetomo, Asim Munawar, Kiyoshi Akama: A Framework of GRID Problem-Solving Environment Employing Robust Evolutionary Search, The Eleventh International Conference on Computer Aided Systems Theory (EUROCAST2007), 2007年2月14日, Gran Canaria, Spain
- ⑭ 佐竹佑太, 棟朝雅晴, 赤間清: Tabu Searchを導入したECGAについての検討, 情報処理学会第62回数理モデル化と問題解決研究会, 2006年12月21日, 調布

- 市
- ⑮ Masaharu Munetomo, Yuuta Satake, Kiyoshi Akama: Enhancing Model-building Efficiency in Extended Compact Genetic Algorithms, IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2006), 2006年10月10日, Taipei, Taiwan
 - ⑯ Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Theoretical and Empirical Investigations on Difficulty in Structure Learning by Estimation of Distribution Algorithms, IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2006), 2006年10月8日, Taipei, Taiwan
 - ⑰ Masaharu Munetomo: Realizing Virtual Innovative Laboratory with Robust Evolutionary Algorithms over the GRID computing system, The 6th International Conference on Recent Advance in Soft Computing, 2006年7月11日, Canterbury, UK
 - ⑱ Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: A Crossover for Complex Building Blocks Overlapping, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2006), 2006年7月10日, Seattle, USA
 - ⑲ Masaru Tezuka, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama, Masahiro Hiji: Control the Number of Samples to Estimate Fitness from the Perspective of Takeover Time and Optimization of Financial Criteria, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2006), 2006年7月18日, Vancouver, Canada
 - ⑳ 佐竹佑太, 棟朝雅晴, 赤間清: 局所探索を導入した確率モデル型遺伝的アルゴリズムの計算コストについての検討, 情報処理学会第59回数理解モデル化と問題解決研究会, 2006年5月25日, 名古屋市

[図書] (計5件)

- ① Mohamed Wahib, Asim Munawar, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: EA-based Problem Solving Environment over the GRID, Advances in Evolutionary Algorithms (Witold Kosinski, editor), pp. 315-334, IN-TECH (2008)
- ② Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo: Linkage Analysis in Genetic Algorithms, Computational Intelligence Paradigms - Innovative Applications (Lakhmi C. Jain, Mika Sato-Illic, Maria Virvou, George A. Tsihrintzis, Valentina

- Emilia Balas, Canicious Abeynayake, editors), pp. 251-280, Springer (2008)
- ③ Asim Munawar, Mohamed Wahib, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Parallel GEAs with Linkage Analysis over Grid, Linkage in Evolutionary Computation (Ying-ping Chen and Meng-Hiot Lim, editors), pp. 159-187, Springer (2008)
- ④ Miwako Tsuji, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: A Network Design Problem by a GA with Linkage Identification and Recombination for Overlapping Building Blocks, Linkage in Evolutionary Computation (Ying-ping Chen and Meng-Hiot Lim, editors), pp. 441-459, Springer (2008)
- ⑤ Masaru Tezuka, Masaharu Munetomo, Kiyoshi Akama: Genetic Algorithm to Optimize Fitness Function with Sampling Error and its Application to Financial Optimization Problem, Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments (Yang, Shengxiang; Ong, Yew-Soon; Jin, Yaochu, editors), pp. 417-436, Springer (2007)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

棟朝 雅晴 (MASAHARU MUNETOMO)

北海道大学情報基盤センター・准教授

研究者番号: 00281783

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし