

平成21年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2006年度～2008年度  
 課題番号：18500059  
 研究課題名(和文) 大規模分散システムにおける協調型並列メタヒューリスティクス計算手法の研究開発  
 研究課題名(英文) A Study on Cooperative Parallel Meta-heuristics on Large-scale Distributed Systems.

## 研究代表者

名嘉村 盛和 (NAKAMURA Morikazu)  
 国立大学法人 琉球大学・工学部・教授  
 研究者番号：80237437

## 研究成果の概要：

大規模分散システムにおけるタブーサーチ、シミュレーテッドアニーリング、遺伝アルゴリズムの効率的な並列処理手法を研究開発した。タブーサーチ、シミュレーテッドアニーリングの並列処理では、複数の探索プロセスが協調する事によって有望な解空間を効果的に見つけ出すことにより効率良く探索を進められる。また、並列遺伝アルゴリズムでは、プロセッサ能力の不均一性および通信遅延が進化計算における解の改善に大きな影響を与えることが分かった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	570,000	3,970,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：メタヒューリスティクス、並列処理、組合せ最適化、協調処理、分散処理

## 1. 研究開始当初の背景

最適化問題はオペレーションズリサーチや計算機科学において古くから研究が進められてきており実世界における応用範囲も広い。また近年のLSI設計、バイオインフォマティクスにおける実問題の規模は桁違いに大きくなっており、CPUの速度向上以上に問題を解く困難さは増大している。一方、PCクラス

タが安価に構築できるようになるとともに、近年のネットワーク技術の急激な進展に伴い地理的に分散した計算資源を活用した並列処理の研究開発が活発に行われている。このような状況の中、PCクラスターや分散環境における計算資源を活用した大規模分散システムによる最適化計算の並列処理に大きな期待が寄せられている。しかしながら、この分野の研

究はまだ成果が少ない状況である。

## 2. 研究の目的

本研究ではPC クラスタや計算 GRID のような大規模分散システム上の地理的に離れた計算資源を活用して分散並列処理する際の問題点を洗い出し、効率の良い計算を行うための手法を研究開発することを目的としている。本研究課題は具体的には次の三つのテーマから構成される。

### (1) 探索空間情報を考慮したメタヒューリスティックスの分散並列処理

メタヒューリスティックスを分散並列処理することにより、実行時間の短縮ばかりでなく、近似解の質の向上、ロバスト性の向上を獲得することを目指している。具体的には、解空間の探索情報を定義し、各プロセスが計算の過程でコンパクトな探索情報を構築していくようにする。そしてプロセス間で探索情報を交換することにより、お互いの探索空間のポテンシャルを把握する方法を開発する。これにより、計算の初期においては、各プロセスはできるだけ異なる空間を探索し、その後複数のプロセスが集中してポテンシャルの高い空間の探索を進める等の効率の良い並列探索が可能となる。

### (2) 大規模分散システムにおける自律分散最適化

ネットワーク接続された複数の PC クラスタ、PC サーバー等の計算資源を有効活用し大規模計算を行う環境 (GRID 環境と呼ぶ) の研究開発が活発に行われている。このような計算環境では、大規模に分散することによる通信オーバーヘッドが影響し、全プロセスを集中的に管理することが不可能となる。従って、各プロセスが局所通信 (近隣計算ノードとの通信) と局所計算のみを実行し、自律的に処理を進めていくような仕組みが求められている。そこで本研究では、膨大な通信遅延及びネットワークトポロジーの最適化計算への影響を評価しながら、局所計算と中央集中管理によらない協調処理によって最適化計算を進める自律分散最適化について検討を進める。

### (3) 分散システム上で実行する並列遺伝アルゴリズム設計のための確率モデルの構築

並列遺伝アルゴリズムは、パラメータ等の設定を適切に行えば、逐次型よりも良質の解を短い時間で探索できることが知られている。しかしながら、そのパラメータ設定は試行錯誤的な努力が必要であるため、経験的な知識がなければ、適切に行うことができないことも事実である。分散システムは、計算ノードの能力の不均一、膨大な通信遅延の存在、ネットワークトポロジーの影響等、並列遺伝アルゴリズムにおけるパラメータ設定を一層困難にしている。そこで本研究では、並列遺伝アルゴリズムの分散システム上で実行モデルの確率モデルを構築し、探索能力を予め見積もることで、パラメータ設定を自動化することを目指す。すなわち、分散システムのトポロジー、各計算資源の能力、各ノード間の通信遅延等を入力とした時の、染色体の収束速度、解の改善速度等を見積もることができるモデルを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) 探索空間情報を考慮したメタヒューリスティックスの分散並列処理

#### ① 並列タブーサーチおよび並列シミュレーティッドアニーリングの開発と性能評価

タブーサーチおよびシミュレーティッドアニーリングの並列処理手法を開発する。大規模分散システムでの効率実行を目指しているためメッセージパッシングによる情報共有を行う。また、それぞれについて各プロセスの探索空間をよりポテンシャルの高い空間に動的に割り当て直すメカニズムを開発する。

#### ② マスタースレーブ方式による遺伝アルゴリズムの並列処理手法の開発

局所探索と遺伝アルゴリズムを組合せたハイブリッド遺伝アルゴリズムの並列化を計る。この時、近傍構造の定義に基づいて探索情報を表し、プロセス間で交換することで協調を行う。ここでの (協調による) 探索空間の再割り当ては、他ノードの探索情報を考慮した染色体集団の再生成を行うことである。

### (2) 大規模分散システムにおける自律分散最

## 適化

### ① 並列遺伝アルゴリズムにおけるネットワークポロジと通信遅延の影響の調査

分散システムにおける計算ノードの能力の不均一、膨大な通信遅延の存在、ネットワークポロジは並列遺伝アルゴリズムの実行過程に多大な影響を与える。そこで、これらの要因が実際にどのような影響をどの程度与えるかを計算機実験によって調査する。

### ② 自律分散環境での探索情報交換による並列進化アルゴリズムの開発

(2)の①の手法を大規模分散システムに適用する。すなわち、地理的に大規模になり、計算ノードの数が増えた場合、(2)の①のマスタースレーブ方式による方式では、マスターへの通信が過剰になることと、マスターの管理負担が増大するため、スケーラビリティが悪くなるのが強く予想される。そこで、近接する計算ノード間の通信により、局所的に探索情報を管理しながら計算を進める手法を開発する。

大規模分散システムを構築するのは物理的に困難であるので、仮想システムをPCクラスタ上に実装し、評価実験を行う。PCクラスタ上に所望のネットワークポロジを構築し、ノード間通信に任意の遅延を与えられるように工夫することにより様々な条件での実験が可能である。

## 4. 研究成果

### (1) 探索空間情報を考慮したメタヒューリスティックスの分散並列処理

#### ① 並列タブーサーチにおけるタブーメモリ協調構成法の検討

各プロセスの管理するタブーメモリの内容をコンパクトにまとめ、探索情報として定義した。そして複数のタブーサーチ・プロセス間で、ある一定間隔毎に探索情報と現在解を交換することにより相互に探索の概要を把握し、各プロセスの探索空間をよりポテンシャルの高い空間に動的に割り当て直すメカニズムを開発した。計算機実験により提案手法の有効性を示した。

#### ② 並列シミュレーティッドアニーリングに

## おける協調並列処理

大規模な分散システムに対応できる並列シミュレーティッドアニーリング (SA) を開発した。複数の SA プロセスをグループ化し、グループ内で一点スタートによる多点探索を行う事で、探索の頑強性をより高める事ができた。また、グループ間協調では、グループ毎に探索空間の複雑さを計測し、それをもとに、グループ間でプロセス数の調整を行うメカニズムを導入した。探索の複雑さは、単位ステップあたりの解の改善度を探索負荷率として定義し、グループ毎に平均をとった。計算機実験により、提案手法の有効性が確認できた。

### ③ マスタースレーブ方式による遺伝アルゴリズムの並列処理手法の開発

局所探索と遺伝アルゴリズムを組合せたハイブリッド遺伝アルゴリズムの並列化を計った。この時、近傍構造の定義に基づいて探索情報を表し、プロセス間で交換することで協調を行う。ここでの(協調による)探索空間の再割り当ては、他ノードの探索情報を考慮した染色体集団の再生成を行うことである。

計算機実験により提案手法の有効性を示した。

### ④ 解の多様性を維持する遺伝アルゴリズムの並列処理手法の開発

島モデルにおける解の多様性とマイグレーションの影響を調査し、並列処理手法の改善を図った。提案している並列処理手法では、木構造の階層に基づいたマイグレーションを用いている。そこで、木構造の一つであるライントポロジの島モデルにおいて、解の多様性がどの程度維持されるのかを、計算機実験によって評価した。実験結果より、解の多様性の維持と探索の性能の間に強い相関があることが分かった。これにより、解の多様性を維持する提案並列処理手法の有効性を示した。

### (2) 並列遺伝アルゴリズムにおけるネットワークポロジと通信遅延の影響の調査

分散システムにおける計算ノードの能力の不均一、膨大な通信遅延の存在、ネットワークポロジは並列遺伝アルゴリズムの実行過程に多大な影響を与える。そこで、これらの要因が実際にどのような影響をどの程度与えるかを計算機実験によって調査した。その

結果、情報交換の方式（染色体マイグレーションの方式）、トポロジーの特徴（ノード間平均距離、最長距離等）によって影響の度合いが異なることが分かった。

(3) メタヒューリスティックスの応用

①二段階メタヒューリスティックスによる資源割当及び生産スケジューリング

メタヒューリスティックスの応用研究として、分散さとうきび圃場における資源配置と農作業スケジューリングのための計算手法を開発した。開発した手法は、農作業に必要な農業機械、作業員等の資源を配置するとともに作業計画をたてる必要があるため、提案手法では、二段階方式を採用した。まずシミュレーテッドアニーリングによって、資源を配置し、それをもとに遺伝アルゴリズムによって具体的な作業計画をたてるものである。計算機実験の結果は、提案手法が効率良く資源割当と作業計画を求めることができることを示した。

②進化ツリーベース法によるマルチプルアラインメント

三本以上のゲノム配列あるいはアミノ酸配列を並べるマルチプルアラインメント問題の代表的なヒューリスティックアルゴリズムとしてプログレッシブアラインメントがある。プログレッシブアラインメントでは、予め求めたガイドツリーによって、ペアワイズアラインメントを繰返し実行するもので非常に高速であるが、用いるガイドツリーによっては、解の質が悪くなるという欠点がある。本研究では、遺伝アルゴリズムを適用して質の良い解を生成するガイドツリーを進化的に求める新しい手法を開発した。計算機実験の結果、従来手法と比較して格段の性能向上が図られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① Masashi Murayama, Morikazu Nakamura, A parallel simulated annealing on distributed computing resources, Proc. of The 23rd International Technical

Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp. 134-140, 2008.

- ② Yiyuan Gong, Senlin Guan, Morikazu Nakamura, Migration Effects of Parallel Genetic Algorithms on Line Topologies of Heterogeneous Computing Resources, IEICE Transaction on Fundamentals, E91-A (4), pp.1121-1128, 2008.
- ③ Senlin Guan, Morikazu Nakamura, Takeshi Shikanai, Takeo Okazaki, Hybrid Petri Nets Modeling for Farm Work Flow, Computers and Electronics in Agriculture, 62(2), pp.149-158, 2008, 査読有
- ④ Hayato Miyagi, Morikazu Nakamura, A Parallel Genetic Algorithm and Its Variance Analysis for a New Multiple Knapsack Problem, Proc. of The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp.157-160, 2008, 査読有
- ⑤ 鹿内健志, 官森林, 名嘉村盛和, サトウキビ生産農家の経営支援の OR, オペレーションズ・リサーチ : 経営の科学, 54(1), pp. 24-29, 2009, 査読無
- ⑥ Senlin Guan, Hirofumi Matsuda, Morikazu Nakamura, Takechi Shikanai, Takeo Okazaki, Scheduling for Farm Work Planning based on Petri Net Model and Simulated Annealing, Agricultural Information Research, 16, pp.188-195, 2007, 査読有
- ⑦ Naznin Farhana, Morikazu Nakamura, Takeo Okazaki, Yumiko Nakajima, An evolutionary progressive multiple sequence alignments, Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.3886-3889, 2007, 査読有
- ⑧ Naznin Farhana, Morikazu Nakamura, Takeo Okazaki, Yumiko Nakajima, Two phase evolutionary method for multiple sequence alignments, Optimization and Systems Biology, Lecture Notes in Operations Research, pp.309-323, 2007, 査読有
- ⑨ Morikazu Nakamura, Koji Hachiman, Hiroki Tohme, Takeo Okazaki, Shiro Tamaki, Evolutionary computing of Petri net structure for cyclic job shop scheduling, IEICE Transaction on Fundamentals, E89-A(11), pp.3235-3243, 2006, 査読有
- ⑩ Naznin Farhana Morikazu Nakamura, Takeo Okazaki, Yumiko Nakajima, Aligning multiple protein sequences by an

evolutionary tree-base method,  
Proceedings of International Technical  
Conference on Circuits /Systems,  
Computers and Communications, 1,  
pp.190-193, 2006, 査読有

- ⑪ Senlin Guan, Morikazu Nakamura, Takeshi  
Shikanai, Takeo Okazaki, Petri net  
modeling and scheduling for farming  
plan, II, pp.465-468, 2006, 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① 勝美 秀仁, 名嘉村盛和、ライトポロジ  
ー上の並列進化ツリーベース法によるマル  
チプルアラインメント問題の解法, 電子情  
報通信学会技術研究報告 コンカレント工  
学, 2009年1月29日、横浜市
- ② 村山 正嗣, 名嘉村盛和, A Parallel  
Simulated Annealing with Cooperative  
Group Searching, 情報通信学会技術研究報  
告 コンカレント工学, 2008年8月5日、  
浜松市
- ③ 安富祖 仁, 名嘉村盛和、岡崎威生, 共分  
散選択と PageRank に基づく評価関数によ  
る遺伝子ネットワーク推定, 情報処理学会  
研究報告 バイオ情報処理, 2008年6月26  
日, 沖縄県西原町
- ④ 若津 大悟, 名嘉村盛和、岡崎威生, 反復  
改善法によるマルチプルアラインメントス  
コアの統計的比較検証, 情報処理学会研究  
報告 バイオ情報処理, 2008年6月26日,  
沖縄県西原町
- ⑤ 宮城 隼人, 名嘉村盛和, ツリートポロジ  
ーに基づく並列遺伝アルゴリズムの多様性  
の実験評価, 電子情報通信学会技術研究報  
告 コンカレント工学, 2008年6月2日,  
名古屋市
- ⑥ 名嘉秀和, 名嘉村盛和, 並列繰返しタブー  
サーチにおける協調処理, 回路とシステム  
軽井沢ワークショップ、2008年4月21日,  
軽井沢町

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

名嘉村 盛和 (NAKAMURA Morikazu)  
琉球大学・工学部・教授  
研究者番号：80237437