

平成 22 年 6 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19500199  
 研究課題名（和文） 確率モデル遺伝的アルゴリズムにおける部分解利用による多様性維持機構に関する研究  
 研究課題名（英文） Maintaining diversity of population using partial solutions in the probabilistic model-building genetic algorithms  
 研究代表者  
 筒井 茂義（TSUTSUI SHIGEYOSHI）  
 阪南大学・経営情報学部・教授  
 研究者番号：90188590

研究成果の概要（和文）：進化計算の新しい流れの一つである確率モデル GA を取り上げ、部分解利用における多様性維持機構について研究した。この方法では、一つの新個体を生成する際、集団の分布推定に基づいて生成する部分は一部分とし、残りの部分は現集団に存在する個体の一部分（部分解）を利用する。これにより、集団の多様性維持が有効に機能する。本研究では、この方法の有効性を組合せ最適化問題を用いて研究した。またその並列化モデルの研究も行った。

研究成果の概要（英文）： Estimation of distribution algorithms (EDAs) or probabilistic model-building genetic algorithms (PMBGAs) are promising research directions of the evolutionary computation. We studied the effectiveness of using partial solutions to maintain diversity of a population in EDAs. In this approach, new solutions are created by combining partial solutions which exist in the current population, and partial solutions newly generated by sampling a probabilistic model. In this study, the effectiveness was studied using combinatorial optimization problems.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遺伝アルゴリズム

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 進化的計算の新しい流れの一つは、統計的手法と融合する EDA ( Estimation of Distribution Algorithm )あるいは, PMBGA ( Probabilistic Model-Building Genetic Algorithms と呼ばれている研究である. 本研究では、この手法を「確率モデル遺伝的アルゴリズム」(以下, 確率モデル GA) と呼んだ. 確率モデル GA では、従来の「交叉」や「突然変異」などの遺伝的オペレータに代わって「個体分布の確率モデル推定」と「推定されたモデルに基づいたサンプリング」により個体が生成される. 進化的探索手法がより強力な探索手法となるためには、評価関数における変数間の依存関係の学習が重要となるが、確率モデル GA は、個体分布のモデル推定にこの機能を併わせることができるので、有利であると考えられている.

(2) 進化的計算における個体のコーディング方法には各種あるが、バイナリ表現, 実数値表現および順序表現の 3 つが代表的である. 確率モデル GA の研究は、バイナリ表現での研究が早くから始まり, PBIL (Baluja 1994), UMDA (Mühlenbein 1996) など初期の研究があり、その後、イリノイ大学の Goldberg 教授の研究室 IlliGAL 等を中心に活発な研究が行われている (ECGA, BOA, hBOA, 他). 実数値表現での確率モデル GA の研究は、バイナリ表現での研究の拡張として始まり、その後各種の研究が試みられている (IDEA, Gaussian network 等). 順序表現における確率モデル GA の研究は、まだ始まったばかりである.

進化的計算では、探索における集団の多様性維持は探索性能向上に重要であるが、突然変異のような多様性維持に有効なオペレータを持たない確率モデル GA では、特に重要となる研究テーマである. 多様性維持が適切に機能しない場合は、選択オペレータによる分布モデルへのポジティブフィードバックが強まり、ローカル解に陥って探索は失敗する.

(3) 確率モデル GA における多様性維持の方法には、選択オペレータの工夫、集団サイズの増加などがある. 本研究では、一つの新個体を生成する際、推定されたモデルに基づいて生成する部分はその個体の一部分とし、残りの部分は現集団に存在する個体の一部分 (以下、部分解と呼ぶ) を利用するという方

法を研究する. 確率モデル GA において、部分解を利用することにより、モデルへのポジティブフィードバックによる過度な集中化が緩和され、また、部分解が混入することにより、突然変異のような効果が期待できる.

### 2. 研究の目的

本研究では、順序表現における確率モデル GA で部分解を利用することによる多様性維持機構の有効性について、実験的な研究を行うことを目的とする. したがって研究対象問題は、順序表現が用いられる組合せ最適化問題である.

### 3. 研究の方法

(1) 順序表現確率モデル GA に関しては、申請者の先行研究である EHBSA (Edge Histogram Based Sampling Algorithm) をベースとした. 適用問題としては、組合せ最適化問題の代表例である巡回セールスマン問題 (TSP) および 2 次割当て問題 (QAP) を用いた.

(2) 組合せ最適化問題では、進化計算にローカルサーチを併用する、いわゆる Memetic algorithms (MA) を用いるのが一般的であり、本研究でも、この形態のアルゴリズムである.

(3) 組合せ最適化問題の確率モデル GA と原理的基板を共有するアントコロニー最適化 (Ant Colony Optimization, ACO) 手法への手法の拡張も図った.

(4) アルゴリズムの並列化による高速化に関する研究も行った.

### 4. 研究成果

(1) 部分解を用いる確率モデル GA の本研究で確立した一般形モデルを図 1 に示す.

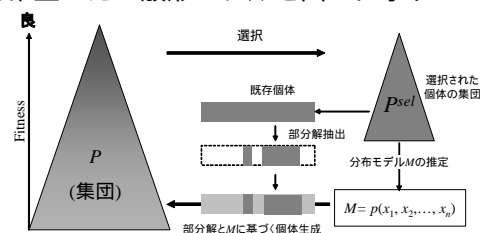


図 1 部分解を用いる確率モデル GA

このモデルでは、新しい個体の生成は、既存解からの部分解と 分布モデルからの生成解、の合成によって得る。重要なパラメータは、 と の比率である。本研究では、この比を決定するパラメータとして $\gamma$ を導入した。 $(1-\gamma)$ が の割合、 $\gamma$ が の割合となる。

$\gamma$ 値の適切な値は問題に依存するが、多くの問題で、 $\gamma \in [0.2, 0.4]$ で優れた性能を有することを明らかにした。図2は、EHBSAをTSPの解法に適用した場合の $\gamma$ の値と性能との関係の結果の例である。ここで、 $\#OPT$ は、最適解発見回数、 $T_{avg}$ は最適解発見に要した時間の平均(秒)である。使用マシンは、Core i7 3.2GHz である。

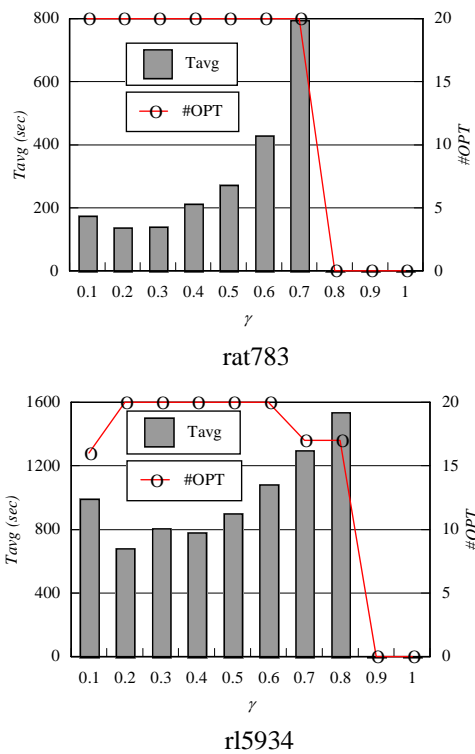


図2 部分解利用の効果の例 (TSP)

(2) 先の と の割合を $\gamma$ に固定して用いる方法と、解候補を生成するごとに確率的に変動させ、平均として $\gamma$ となる方法とを比較した結果では、確率的に変動を与えた方式の方が、 $\gamma$ の値に対してロバストな結果が得られた。

の大きさの $l_s$ とした場合、 $l_s$ の確率密度関数は、以下が適切である。

$$f_s(l) = \begin{cases} \frac{1-\gamma}{n\gamma} \left(1 - \frac{l}{n}\right)^{\frac{1-2\gamma}{\gamma}} & \text{for } 0 < \gamma \leq 0.5, \\ \frac{\gamma}{n(1-\gamma)} \left(\frac{l}{n}\right)^{\frac{2\gamma-1}{1-\gamma}} & \text{for } 0.5 < \gamma < 1. \end{cases}$$

ただし、 $n$  は問題サイズを表す。

(3) EHBSA は、ACO 手法と基本部分において共通の原理を持っている。図3にこの関係を示す。EDA では集団の個体の分布を分布推定に用いるのに対して、ACO では、個体(エージェント)が放出するフェロモン量の分布を用いて探索が行われる。したがって、基本的な原理では、DA と ACO とは共通点を有している。

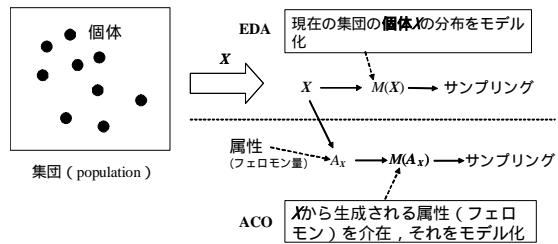


図3 EDA と ACO との関係

部分解を用いる手法を ACO へ拡張した新しいACOモデルを提案した。このACOモデルをカニングアントシステム(cAS)と呼ぶ。cASを用いて、2次割当て問題(QAP)に適用し、有効な結果を得た。

(4) アルゴリズムの並列化による高速化の研究として、ネットワーク環境における並列化、マルチコア環境における並列化、グラフィック処理プロセッサ(GPU)による並列化の研究を行った。

のネットワーク環境での並列化の研究では、TCP/IP環境での並列化を行った。図4は、EHBSAをQAPの解法に適用した結果である。規模の小さい問題では通信オーバーヘッドの全体の処理時間に占める割合が大きく、高速化が図れていない。しかし、高速化が重要となる規模の大きな問題では、通信オーバーヘッドの全体の処理時間に占める割合が小さくなり、高速化が図られる。

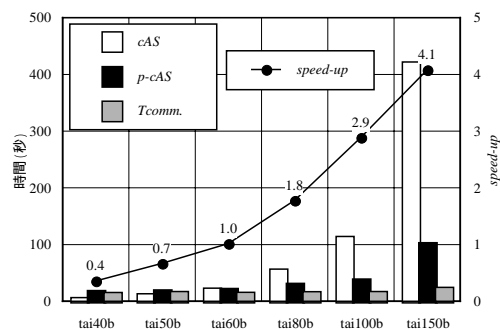


図4 ネットワーク環境における並列化の例 (QAPの解法への適用)

のマルチコア環境では、各プロセッサが主メモリを共有するので、通信オーバーヘッドは小さく、並列化に有利である。図5は、Intel Core i7(4コア)においてEHBSAを並列化し、TSPの解法に適用したものである。マルチコア環境では小さな問題においても高速化が図られていることが分かった。なお、並列化処理間で、同期をとる方式(同期方式)と同期をとらない方式(非同期方式)とを検討したが、明らかに非同期方式が有利となった。

のGPUを用いた並列計算は、ここ1,2年に急速に研究が進んでいる分野である。本研究期間では予備的な研究を行った。nVidia社のGPUであるGTX285を用いてQAPの解法に適用した結果では、CPU計算に比較して約5~10倍程度の高速化の結果を得た。この研究に関しては、今後本格的に取り組んでいく予定である。

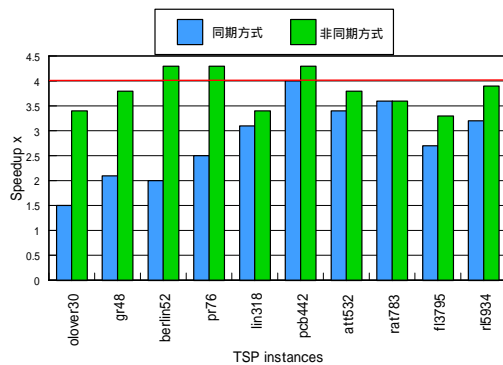


図5 EHBSAのマルチコア環境での並列化 (TSPの解法への適用)

## 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12件)

Shigeyoshi Tsutsui, Parallelization of an Evolutionary Algorithm on a Platform with Multi-core Processors, Proceedings of the 9th international conference on Artificial Evolution (EA'09), Springer, LNCS 5975, 査読有, 2009 (in press)

Shigeyoshi Tsutsui, Effect of Using Partial Solutions in Edge Histogram Sampling Algorithms with Different Local Searches, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 査読有, 2009, pp. 2206-2211

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, Solving Quadratic Assignment Problems by Genetic Algorithms with GPU Computation: A Case Study, Proceedings of the GECCO 2009 Workshop on Computational Intelligence on Consumer Games and Graphics Hardware CIGPU-2009, ACM, 査読有, 2009, pp. 2523-2530

筒井 茂義, 対称型マルチプロセッシングを用いた並列化ACOによる2次割当て問題の解法とその評価, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 24, No. 1, 2009, pp. 46-57

筒井 茂義, ACO: アントコロニー最適化, システム制御情報学会誌「システム/制御/情報」- 進化計算の新展開特集号 -, 査読有, Vol. 52, No. 10, 2008, pp. 390-398

Shigeyoshi Tsutsui, Parallel Ant Colony Optimization for the Quadratic Assignment Problems with Symmetric Multi Processing, Proceedings of the Sixth International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Springer LNCS 5217, 査読有, 2008, pp. 363-370

Shigeyoshi Tsutsui, Convergence Analysis of the Cunning Ant System with Entropy Measure, Proceedings of the 2008 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'08), CSREA press, 査読有, 2008, pp. 783-789

筒井 茂義, アントコロニー最適化手法, 計測と制御特集号 - メタヒューリスティクスの新潮流 -, 計測自動制御学会, 査読有, Vol. 47, No. 6, 2008, pp. 466-472

筒井 茂義, 劉 力綺, 小島 基伸, カニングアートをを用いたACOの2次割当て問題への適用とその並列化, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, 査読有, Vol. 49, No. SIG 4 (TOM 20), 2008, pp. 45-56

Shigeyoshi Tsutsui, Cunning Ant System for Quadratic Assignment Problem with Local Search and Parallelization, Proceedings of the Second International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence, Springer LNCS 4815, 査読有, 2007, pp. 269-278

Shigeyoshi Tsutsui and Lichi Liu, Solving Quadratic Assignment Problems

with the Cunning Ant System, Proceedings of the 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC-2007), IEEE, 査読有, 2007, pp. 173-179

〔学会発表〕(計10件)

筒井 茂義, 藤本 典幸, GPU計算を用いた並列進化計算による二次割当て問題の一解法とその解析, 人工知能学会第3回進化計算フォロントニア研究会 講演論文集, 査読無, 2009, pp. 90-100

筒井 茂義, マルチコア計算機における進化計算の並列化, 2009年度人工知能学会全国大会論文集, 査読無, 2009

筒井 茂義, 強 琳, ACOアルゴリズムにおける部分解の利用法について, 第24回ファジィシンポジウム論文集, 日本知能情報ファジィ学会, 査読無, 2008, pp. 534-539

筒井 茂義, カニングアントシステムの収束特性について, 情報処理学会研究会報告 数理モデルと問題解決 2008-MPS-70, 査読無, Vol. 2008, No. 65, 2008, pp. 31-34

筒井 茂義, 分布推定型進化的計算における部分解利用による多様性維持の効果について, SICE システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集, 査読無, 計測自動制御学会, 2007, pp. 147-151

筒井 茂義, 劉 力綺, カニングアントを用いたACOとその2次割り当て問題への適用, 情報処理学会研究会報告 数理モデルと問題解決 2007-MPS-66, 査読無, Vol. 2007, No. 86, 情報処理学会, 2007, pp. 9-12

〔図書〕(計1件)

筒井 茂義, アントコロニー最適化, 進化技術ハンドブック第1巻基礎編, 13章群知能, 1節, 電気学会進化技術応用調査専門委員会編, 査読有, 近代科学社, 2010, pp. 168-174

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

<http://www.hannan-u.ac.jp/~tsutsui/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

筒井 茂義 (TSUTSUI SHIGEYOSHI)  
阪南大学・経営情報学部・教授  
研究者番号: 90188590

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし