

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700232

研究課題名(和文) 組合せ最適化問題に対する超多点差分進化の開発と勤務表作成問題への適用

研究課題名(英文) Development of Many Population-based Differential Evolution for Combinatorial Optimization Problem and Its Application to Staff Rostering Problem

研究代表者

串田 淳一 (Kushida, Jun-ichi)

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10558597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：Differential Evolution (DE)は進化計算に分類される、個体群による確率的な多点探索手法であり、実数値関数を対象とした最適化手法である。本研究では、DEの組合せ最適化への適用を目的とし、決定変数が離散値となる問題を扱うためのDEのアルゴリズムを提案する。また、並列コンピューティングに適する進化モデルである島モデルを拡張し、効率的に複数の個体群を進化させるための超多点DEを開発する。勤務表作成問題のベンチマーク問題を用いた数値実験を通して、開発手法が多目的・多重制約性を有するにおいて短時間で実用的な勤務表を作成できることを示す。

研究成果の概要(英文)：Differential evolution (DE), classified as a part of evolutionary algorithm, is a population-based stochastic search technique for solving optimization problems in a continuous space. In this research, we propose new DE algorithm to solve combinatorial optimization where decision variables are represented as a discrete value. Furthermore, we modify island based generation alternation model for DE and construct many population-based DE which can work in parallel computing platform. In the proposed method, several populations evolve competitively based on coevolutionary approach. Through the numerical experiments using a benchmark problem of staff rostering problem, we show that the proposed method is able to generate a useful roster in short period of time.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：差分進化 組合せ最適化 進化計算

### 1. 研究開始当初の背景

進化計算を実問題へ適用する場合、解候補の評価のために膨大な反復計算が必要となる。これまで、PCを複数台ネットワーク接続したPCクラスタやグリッド環境のための様々な並列モデルが提案され、計算時間の削減が試みられてきた。個体群を用いて演算を行う進化計算手法においても並列計算アーキテクチャを生かした新たなパラダイムが求められている。また、進化的計算の一手法である差分進化(Differential evolution: DE)は実装が容易であり、高速で頑健なことから、最適化問題における有力な近似解法の1つとして注目されている。DEはこれまで連続関数最適化の分野で、有効性の検証が確認されている。一方で、本研究で対象としているような、組合せ最適化の分野では、理論・応用を含めて研究報告が少ないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本課題ではまず、DEの組合せ最適化への適用を目的とし、決定変数が離散値となる問題を扱うためのDEのアルゴリズムを提案する。また、近年実用化に達している高い並列演算処理を持つ計算アーキテクチャの性能を十全に引き出すためのDEの世代交代モデルとして複数の個体群を用いた超多点DEを開発する。さらに、開発手法を勤務表作成問題へ適用する。ベンチマーク問題を用いた数値実験を通して、開発手法が多目的・多重制約性を有する勤務表作成問題において短時間で実用的な勤務表を作成できることを示す。

### 3. 研究の方法

上記の研究背景および研究目的に基づき、本研究は以下のように遂行した。

#### (1) DEの離散最適化問題への拡張

DEの差分ベクトルを用いる遺伝操作は、連続値を対象としており、組合せ最適化のような決定変数が離散値となる問題にそのまま適用することはできない。そこで、整数値にコード化された遺伝子を直接的に扱うために、離散変数空間における差分操作を可能とするDEを提案した。

#### (2) 並列計算に適する進化モデルの構築

大量の個群を効率的に進化させる方法として、各島の人口が変動可能な島モデル型のDEを提案した。各島は制御パラメータが異なり、各個体群の進化の過程において、適するパラメータを持つ島へ人口を集中させることで、探索効率の向上を図った。また、勤務表作成問題を対象とした共存型遺伝的アルゴリズム(CGA)において、並列計算を行うための拡張を行った。ここでは、複数のCGAが探索を競争的に行い、それらを共進化させる進化モデルとして、共進化型CGAを構築した。

#### (3) 勤務表作成問題への適用

提案した、共進化型CGAの有効性を検証するため、勤務表作成問題のベンチマークデータとして、下記webサイトで公開されている問題を用いた。

<http://www.cs.nott.ac.uk/~tec/NRP/>

各問題は勤務者数、スケジューリング期間、スキルレベル数、制約条件の種類など、最適化条件が異なる問題となっている。

### 4. 研究成果

3で述べた各項目について、以下の成果が得られた。

(1)DEで離散最適化問題を扱うために、遺伝演算の拡張を行った。対象とする問題は2次割当問題とし、順列表現される解候補に対し、個体間の差分ベクトルの計算と基本ベクトルに対する差分変異の方法について提案した。予備実験の結果より、決定変数が離散値となる場合では、連続値の場合と異なり、各個体の遺伝子が1つの値に収束しやすいことが確認できた。そのため、タブーリストおよび個体群の再初期化を提案したDEを導入した。これにより初期収束を防ぎ、解空間を網羅的に探索することが可能となった。ベンチマーク問題を用いた、評価実験の結果として、15次元から30次元までの問題(Nug15~Nug30)に対する結果を表1に示す。

Problem	opt.	$C_{ave}$	$C_{rer}$	$I_{ave}$	SR[%]
Nug15	1150	1150	0	6.0E+05	100
Nug17	1732	1732	0	6.0E+05	100
Nug18	1930	1930	0	2.7E+06	100
Nug20	2570	2570	0	2.1E+06	100
Nug21	2438	2438	0	2.7E+06	100
Nug22	3596	3596	0	3.7E+05	100
Nug24	3488	3488	0	2.2E+06	100
Nug25	3744	3744	0	1.5E+06	100
Nug27	5234	5234	0	1.4E+06	100
Nug30	6124	6247.4	0.020	2.0E+07	20

表1 各問題に対する最適化結果

$Opt.$ は問題の最適解、 $C_{ave}$ は10試行の最良解の平均値、 $SR$ は最適解を発見した成功率を示す。提案手法は30次元の以外の問題において、 $SR=100$ となっており、最適解を安定して発見可能であることが確認できた。

(2) 並列計算に適する進化モデルである島モデルを拡張し、効率的に複数の個体群を進化させるための島モデル型DEを提案した。評価実験として、多峰性関数や変数間依存性を持つ関数を用い、通常のDEとの比較を行った。提案した島モデル型DEでは、進化中に適する制御パラメータを持つ島に個体に移住していくため、各関数において最適解発見までの評価回数を削減できることを確認した。図1にRosenbrock(star)関数における進化中の各島の個体数を示す。 $P_3$ は交叉率 $CR=0.95$ に設定した島であり、変数間依存性が強い場合に適する設定となっている。探索後半では人口が $P_3$ に集中し、個体群は効率的に解探索を行っていることが確認できる。

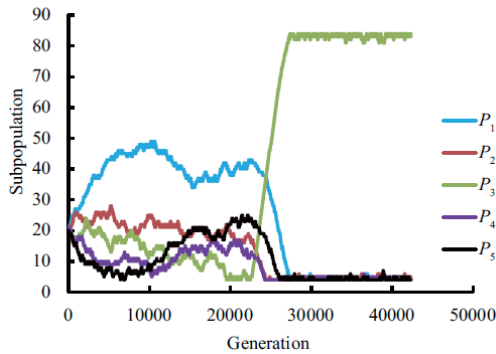


図 1 Rosenbrock(star)関数での各島( $P_1$ - $P_5$ )の個体数の変化

(3) CGA では 1 つの個体群が一つの勤務表に対応し、交叉、突然変異により勤務表を進化させる。これに対し共進化型 CGA では、複数の個体群(CGA)を用い、それらを並列に共進化させる。突然変異では hard 制約である 1 日の勤務者数を、上下限内で変化させる。共進化型 CGA では、この突然変異を行う確率 ( $pm$ )を個体群の優劣関係に従い制御する。各世代では、優良な集団ほど突然変異率を低くし、優良でない集団ほど突然変異率を高くする。図 2 に共進化型 CGA と従来の CGA との比較結果を示す。

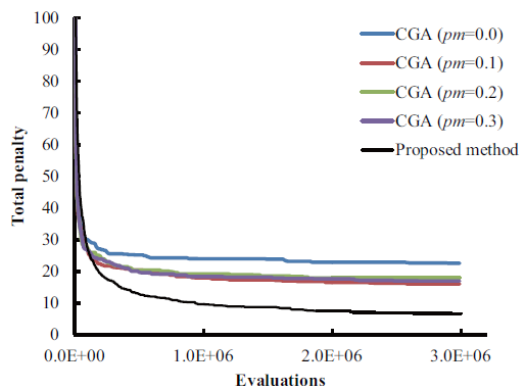


図 2 共進化型 CGA と CGA でのペナルティ値の推移

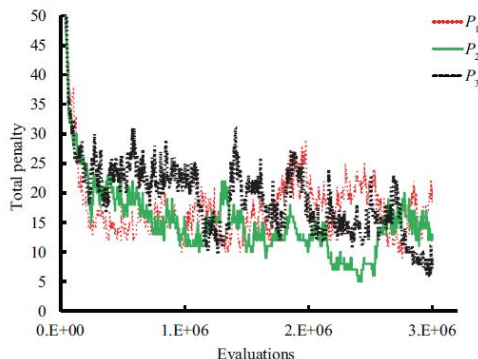


図 3 各個体群( $P_1$ - $P_3$ )のペナルティ値の推移

提案手法では、突然変異率を一定とした CGA よりも制約違反数(ペナルティ値)が少ない勤務表を作成できることが確認できた。また、図 3 に各集団のペナルティ値の推移を示す。

各島の優劣は周期的に交代しながらペナルティ値も徐々に減少していることが確認できる。以上の結果より、共進化型 CGA では各集団の進化が停滞することなく、競争的に解の改善が継続していることがわかる。

以上より、本課題では DE の組合せ最適化問題に対する適用方法を新たに示し、並列計算に適する進化モデルを構築することができた。また、共進化型 CGA は並列コンピューティング環境で並列実装を行うための API である OpenMP で実装することで、実行時間を大幅に削減することができた。今後の課題として、DE で多重制約性を扱うためのメカニズムの導入と多目的最適化への拡張が挙げられる。

### 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 1 件)

- (1) J. Kushida, A. Hara and T. Takahama, A Coevolutionary Approach of Cooperative GA for Nurse Scheduling, ICIC Express Letters, Volume 8, Issue 1, 2014, pp. 95-106 (2014) [査読有]

[学会発表](計 9 件)

- (1) J. Kushida, A. Hara, T. Takahama, A Hybrid Algorithm Based on Particle Swarm Optimization and Differential Evolution for Global Optimization Problems, Proceedings of 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications NOLTA2013, pp. 201-204 (2013) [査読有]
- (2) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, 探索点の距離とランク情報による Differential Evolution の性能向上, 進化計算シンポジウム 2013, pp. 205-212 (2013)
- (3) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, 個体の類似度とランク情報を利用した Differential Evolution の提案, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2013, pp. 592-596 (2013)
- (4) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, 個体間の類似度を利用した適応型 Differential Evolution の提案, 第 3 回コンピュータショナル・インテリジェンス研究会, pp. 15-19 (2013)
- (5) Jun-ichi Kushida, Ayumi Kido, Akira Hara and Tetsuyuki Takahama,

Island-Based Differential Evolution  
with Varying Subpopulation Size, IEEE  
6th International Workshop on  
Computational Intelligence and  
Applications, pp. 119- 124, (2013) [査  
読有]

- (6) 串田淳一, 城戸あゆみ, 原章, 高濱徹行,  
動的な人口変化を導入した島モデル型  
Differential Evolution の提案, 第 4 回  
進化計算研究会, pp. 40-46 (2013)
- (7) Jun-ichi Kushida, Kazuhisa Oba, Akira  
Hara, Tetsuyuki Takahama, Solving  
Quadratic Assignment Problems by  
Differential Evolution, The 6th  
International Conference on Soft  
Computing and Intelligent Systems  
The 13th International Symposium on  
Advanced Intelligent Systems, pp.  
639-644 (2012) [査読有]
- (8) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, 大場和久,  
Differential Evolution を用いた 2 次割当  
て問題の解法, 第 28 回ファジィシステム  
シンポジウム, pp. 596-599 (2012)
- (9) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, 差分ベクト  
ルを用いた Particle Swarm  
Optimization の提案, 進化計算シンポ  
ジウム 2012, S3-6 (2012)

〔図書〕(計 0 件)

〔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〕  
ホームページ等

6 . 研究組織  
(1) 研究代表者  
串田淳一 (JUNICHI KUSHIDA)  
広島市立大学・知能工学専攻・助教  
研究者番号 : 10558597