

氏 名	あおにち かくらく 敖日 格楽
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	富理工博甲第 106 号
学位授与年月日	平成 28 年 9 月 28 日
専 攻 名	理工学教育部 (数理・ヒューマンシステム科学専攻)
学位授与の要件	富山大学学位規則第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	The Theories, Technologies and Applications of Imperialist Competition Algorithm (帝国主義競争アルゴリズムの原理、技術及び応用に関する研究)
論文審査委員 (主査)	長谷川 英之 唐 政 高 尚策 岡田 裕之

# The Theories, Technologies and Applications of Imperialist Competition Algorithm

*A dissertation submitted to the*

*Graduate School of Science and Engineering for  
Education,*

*University of Toyama*

*Toyama, Japan*

*in partial fulfillment of the*

*requirements for the degree of*

***DOCTORATE OF PHILOSOPHY (Ph.D.)***

*in Advanced Mathematics and Human Mechanisms Science*

***October 2016***

*By*

***Aorigele***

The emergence of nature-inspired algorithms (NIAs) is a great milestone in the field of computational intelligence community. As one of the NIAs, imperialist competition algorithm (ICA) which draws inspiration from socio-political process of imperialistic competition has exhibited its effectiveness, implicit parallelism, flexibility and applicability when solving various combinational optimization problems. Due to these advantages in solving NP-hard problems for ICA, this paper focuses on the studies included improvement of theories, integration with other excellent intelligent optimization algorithms or evolutionary operators and application on real-world problems.

In Chapter 1, computational intelligence algorithms which contain evolutionary algorithm, artificial neural networks and swarm intelligence algorithms are briefly described. But ICA as one of the most swarm intelligence algorithms is given a detailed description which will be used in other chapters to solve practical problems. ICA possesses some empires (sub-population) simultaneously and among them competition and collaboration are existed. So ICA performs global search well by parallel searching. It has been used extensively to solve different kinds of optimization problems and has gained huge popularity in a relatively short span of time all over the world. Finally, the construction of this thesis is explained.

In Chapter 2, gene expression profiles which represent the state of a cell at a molecular level could likely be important help in the progress of classification platforms and proficient cancer diagnoses. Therefore, it is crucial for selecting highly pathogenic genes which called feature genes, from the large number of gene expression data. Due to the intrinsic intractability of gene expression data included the high dimensionality in

comparison to the limited size of samples, noisy genes and irrelevant genes, so it face difficulties in selecting a small subset of informative genes from the data for cancer classification. Hence, we attempt to apply ICA with parallel computation and faster convergence speed to select the least number of informative genes that are related to detect and classify cancer in this paper. Fuzzy job-shop scheduling problems (FJSPs) with various imprecise factors are a category of combination optimization problems known as non-deterministic polynomial-hard problems. Timely solving a FJSP is very important in the management, industry and economy. So we also utilize ICA to process FJSP for the optimal scheduling sequence.

In Chapter 3, I firstly attempt to apply ICA on gene expression data for feature selection. A hybrid ICA combined with information entropy, called as ICAIE is presented. In the proposed algorithm, we utilize information entropy to locate genes and the roulette wheel selection mechanism to avoid the informative gene excessively selected. This mechanism will speed up the convergence speed of the algorithm. Assimilated mechanism using different genes learning technology promotes the evolution of the colonies. At the same time, fitness evaluation function considered the classification accuracy and the number of selected genes is given. The proposed algorithm was tested on 10 well-known benchmark gene expression data sets having dimensions varying from 2308 to 12600. Experiment results proved the performance of the proposed algorithm is superior to the conventional version of binary particle swarm optimization (BPSO) in terms of classification accuracy and convergence speed.

In Chapter 4, ICA with faster convergence for feature selection using gene classification, however, ICA same as the other evolutionary algorithms is sensitive to

the selection of the initial population and do not guarantee the global optimum value. Therefore, it may converge to a local optimum if the initial population is not properly chosen. In order to overcome this drawback, we propose an improved binary ICA (IBICA) with the idea that the local best city (imperialist) in an empire is reset to the zero position when its fitness value does not change after five consecutive iterations. At the same time, Baldwinian learning (BL) mechanism is introduced into assimilation operation instead of all different genes learning mechanism. This technology can be able to use information from environment by BL, i.e., from imperialist and avoid local optimum by scale factor. If the guide antibody is already near global optimal, such learning is very effective to accelerate the convergence speed, and meanwhile to greatly improve the average quality of the solutions and avoid extremely learning. Then IBICA is empirically applied to a suite of well-known benchmark gene expression datasets for testing the performance of the proposed approach. Experimental results show that the classification accuracy and the number of selected genes obtained by the proposed method are superior to other previous related works.

In Chapter 5, a hybrid algorithm ICATS combining discrete imperialist competition algorithm (DICA) and tabu search (TS) is proposed to solve Fuzzy job-shop scheduling problems (FJSPs) with fuzzy processing time and fuzzy due date. The objective function is maximizing the minimum agreement index which is on the basis of the agreement index of fuzzy due date and fuzzy completion time. In the proposed algorithm, DICA conducts the global search and TS performs the local search. The imperialist is used to guide the colonies in the same empire. So local search approach based on TS is applied to the imperialist to perform fine-grained exploitation. In order to enhance the information interaction between the empires, one-point crossover operator is used on

two imperialists which is embedded in the hybrid algorithm. 6 X 6 and 10 X 10 FJSPs with fuzzy processing time and fuzzy due date are tested in this chapter. Experimental results demonstrate the superiority and feasibility of the proposed algorithm.

In Chapter 6, some general remarks will be presented to summarize the contribution of this paper and future trends which will be given for other researchers to do future works. All of these things can benefit scientists to utilize ICA for solving NP-hard problems in the future.

## 【学位申請審査結果の要旨】

当博士学位論文審査委員会は、標記の博士学位申請論文を詳細に査読し、また論文公聴会を平成28年8月24日（水曜日）に公開で開催し、詳細な質疑を行って論文の審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

知能アルゴリズムは新興の最適化計算技術として、魅力的な発展の将来性を持ち、多くの研究者の注目を集めている。帝国主義競争アルゴリズム独特の群体並行性、相互協力や相互競争メカニズム及びそれに対する研究はまだ初期段階にあるため、著者は本アルゴリズムについて関連研究に関する調査も含め系統的に検討を行った。本研究では、社会行動によって啓発された帝国主義競争アルゴリズムを遺伝子データの抽出問題とファージジョブショップスケジューリング問題に応用し、NP-hard (Non-deterministic Polynomial) 問題を解決した上で、本計算技術の優越性を示し、この観点から一定の理論価値を有すること、また、実際のデータ解析に応用できる可能性を示している。

本研究の主な成果として以下の4点を挙げる：

1. 帝国競争アルゴリズムを遺伝子データの抽出問題に初めて応用し、連続モデルにより定義されたアルゴリズムから離散モデルを導出した。それにより、後続の研究者に離散帝国競争アルゴリズム及び本計算法の遺伝子データへの応用例を示すことができた。同時にアルゴリズムの収束速度を向上させるとともに、局所的最適解に陥るのを避けるため、情報エントロピーに基づいた遺伝子のサブセットへの分割戦略を提案した。すなわちすべての情報遺伝子について情報エントロピーを計算する；その後、ランダムに生成されたバイナリーテンプレート中において0もしくは1の数値により、各遺伝子のサブセットのサイズを確定し、情報エントロピーの大きさによって二つの遺伝子サブセットに分ける；情報量の大きい遺伝子のサブセットを用いて帝国を初期化させ、情報量の少ない遺伝子のサブセットで植民地を初期化させる。それにより、初期化する際に全ての遺伝子が帝国もしくは植民地に含まれることを確保できる。それとともに植民地は同化する際に帝国から自分と完全に異なる遺伝子情報を学習することができる。このように改善された帝国競争アルゴリズムを典型的な遺伝子データ集で検証した。試験結果はSVM (Support Vector Machine)によって得られる分類の正確率を高めただけでなく、情報遺伝子の量も減少させた。典型的なPSO (Particle Swarm Optimization)アルゴリズムと比較すると、この試験結果はアルゴリズムが有効かつ高効率であることを示している。
2. 応用帝国競争アルゴリズムを応用し、遺伝子データの特徴を引き出す過程で、全て異なる遺伝子を学習するメカニズムを用いて、植民地の同化を実

現させた。この学習メカニズムは過度学習の欠点がある。そのため **Baldwinian** 学習戦略に基づいて着想して部分学習メカニズムを提案し、スケーリング係数を導入した。これらは均一分布に従うランダムな数字で、全て異なる遺伝子の中から学習に使用した遺伝子の比例を代表している。提案されたこのメカニズムは有効な遺伝子を学習することを確保できるとともに、過度な学習を避けることができる。

3. 知能アルゴリズムはランダムに検索する計算法であり局所的最適解に陥りやすい欠点がある。帝国競争アルゴリズムも例外ではない。そのため、帝国競争アルゴリズム中に局所的最適解を避ける手法を加えた。つまり、帝国主義の適応度値は連続で 5 代まで変化が発生しない場合、計算法は局所的最適解に陥ったと認識し、この帝国主義が改めて初期化される。提案されたこのメカニズムにより局所的最適解を避けることができる。
4. 全体検索に基づいた帝国競争アルゴリズムと局所検索に基づいた制約付き計算法を融合したハイブリッド帝国競争アルゴリズムを提案し、ファージジョブショップスケジューリング問題に応用した。

以上要するに本論文は、これまで連続系で定義されていた帝国主義アルゴリズムから離散モデルを導出し、遺伝子解析という実際の離散データ解析に適応できる可能性を示したものであり、情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、当博士論文審査委員会は本申請論文が博士の学位を授与することに十分に値するものと認め、合格と判断した。