

並列IECユーザの評価特性の類似度と協調作業効率の 関係

高木, 英行
九州大学大学院芸術工学研究院

劉, 暢
九州大学大学院芸術工学府

<https://hdl.handle.net/2324/4482775>

出版情報 : pp.1-, 2009-09-17. Japan Society for Fuzzy Theory and Systems
バージョン :
権利関係 :



並列 IEC ユーザの評価特性の類似度と協調作業効率の関係

Relationship Between Similarity of Parallel IEC Users and Efficiency of Cooperative Parallel IEC Works

劉 暢

Chang LIU

九州大学大学院芸術工学府

Graduate School of Design, Kyushu University

○高木 英行

Hideyuki TAKAGI

九州大学大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~takagi/>

Abstract: Abstract: We investigate an evaluation criterion for parallel interactive evolutionary computation (IEC). Unlike a fitness function of parallel evolutionary computation, all fitness characteristics of parallel IEC users are different. Cooperative performance of the parallel IEC depends on their similarity, and sometime that of the parallel IEC may become worse than that of a normal IEC with a single user. As the first step, we make a pseudo-IEC user model and investigate the relationship between the similarity of evaluation characteristics of two IEC users and the cooperative performance of their parallel IEC. By comparing the relationship and the performance of a single IEC user's work, we provide a practical criterion for deciding whether we use parallel IEC when two IEC users are given.

1 はじめに

対話型進化論的計算 (IEC) は、ユーザの評価に基づいてコンピュータが対象システムを最適化する最適化手法であり、コンピュータグラフィックスや音楽やデザインなどのアート応用、音響・画像信号処理、ロボティクス、制御、データマイニング、メディアデータベース検索などの工学応用、ゲームや教育などその他多数の応用分野に適用されている [8].

多くの IEC 応用では、一人の IEC ユーザの経験、知識、感性に基づいてデザインや最適化設計を行うが、デザイン教育などの協調作業に対応して IEC による協調作業の枠組みも必要である。複数の IEC ユーザの評価を反映させる方法には 2 つある。1 つは複数のユーザが話し合い平均的な意見で評価する方法であり、この場合の IEC の枠組みは単独 IEC ユーザの場合と同じである。もう 1 つの方法は、複数の IEC ユーザが個々に最適化を行い、その解情報を交換し合う並列 IEC である [2, 3, 4, 7].

これまで多くの並列進化論的計算 (EC) の研究発表がなされて来た [1, 6]. 代表的な並列化モデルに並列分散 EC (並列島モデル) がある。これは島と呼ばれる個体群の部分集団毎に EC 探索を行い、各島の個体の移住操作によって他の島に優秀な個体を提示するという、母集団を分割して並列処理を行う方式である。

並列 EC と本論文が取り上げる並列 IEC の大きな違いは、前者が同じ fitness 関数を用いて並列化を行うのに対して、後者は個々の IEC ユーザの評価特性がすべて異なる点である。評価価値観が大きく異なる人々が協調作業を行ってもうまくいかないことは容易に想像できる。例えば、並列 IEC と単独 IEC を建築間取設計に応用し、10 項目について両者から得られた間取り案を比較評価した結果、「革新的」「独創的」の評価項目で有意な差が見られたとの主観評価実験結果の報告 [7] もあるが、このタスクが「私の好みのファッショ」のように個人に依存する場合であったならば結果は異なったものになったに違いない。

では、どの程度 IEC ユーザ間の評価特性が類似していればどの程度協調作業がうまく行き、どの程度類似度が低ければうまく行かないのだろうか? 本研究の第 1 の目的は、

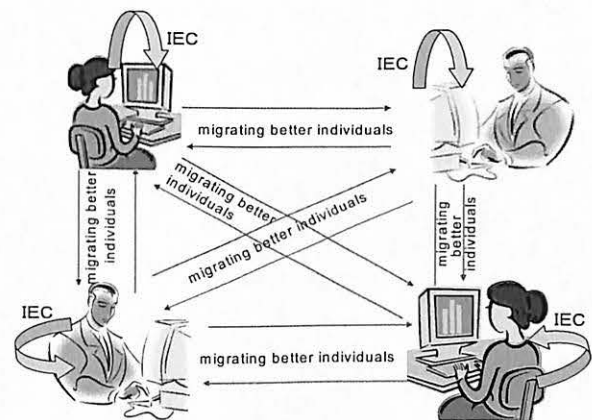


Fig. 1: Parallel distributed IEC model.

並列 IEC ユーザの評価特性の類似度と協調作業効率との関係を明らかにすることである。更に第 2 の目的は、並列 IEC を行う前に IEC ユーザ間の評価特性の類似性を簡易的に調べることで、それらの IEC ユーザが並列 IEC で協力し合った方がよいのか、あるいは単独 IEC を実施した方がよいのかの参考となる目安を提示することである。この目的達成のためのアプローチとして、並列 EC の枠組みである並列分散モデルを原型として図 1 の並列 IEC を構築し、パラメトリックに特性を変更できる擬似 IEC ユーザを設計し、2 人の擬似 IEC ユーザの評価特性をパラメトリックに変更させながら協調作業効率を計測する。

本目的とアプローチの概念図を図 2 に示す。擬似 IEC ユーザを作成し 2 名 (A と B_d) による並列 IEC シミュレーションを行う。図 2 では d の値が大きくなるに連れて A と B の評価特性の違いが大きくなるように示してある。 d の値にしたがって並列 IEC の協調効果が少なくなり、いつかは A 単独で通常の IEC を行うよりも収束性能が下回ると思われる。この境界を明らかにし、同じ個体を評価し合った

際の評価値差がこの値以下であれば単独 IEC よりも並列 IEC を、そうでない場合は単独 IEC を選択する、という実用上の目安を参考にすることが本論文の論旨である。

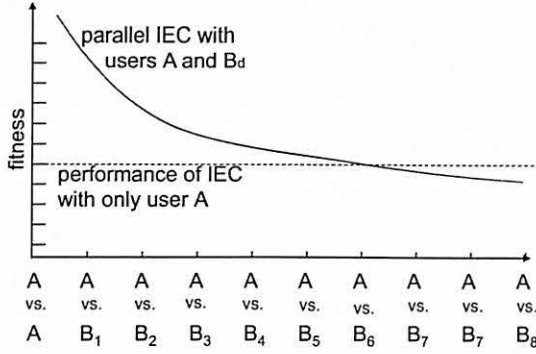


Fig. 2: Conceptual explanation of the objectives and approach of this paper. According to the difference of the evaluation characteristics between two IEC users, the cooperative performance of parallel IEC decreases and becomes worse than that of a single IEC.

2 並列 IEC シミュレーション

2.1 擬似 IEC ユーザのモデル

本論文の目的では少しずつ評価特性の異なる IEC ユーザに並列 IEC を行わせ、協調作業効率として収束特性を調べることになる。少しずつ評価特性の異なる人間の IEC ユーザを探し出すことと、まったく同じ条件化で反復評価実験を行うことはほとんど不可能である。そのため擬似 IEC ユーザを設計し、IEC シミュレーションで評価を行う。

多くの IEC 応用では、せいぜい数世代程度でもある程度の満足が得られる解が得られる。数式表現されるフィットネス関数と異なり IEC ユーザにとってわずかな個体の違いは評価点上の区別がつけられないし、騙し問題のように類似個体に極端に異なる評価点を与えることも考えにくい。この事実から、多くの IEC 応用の探索空間は比較的単純であると言える。そこで、 g 個の D 次元ガウス関数を組み合わせた混合ガウス関数を核に用い、大局的には大谷構造となる多峰性の擬似 IEC ユーザ評価特性を構築する。

実験に用いる複数の擬似 IEC ユーザ A, B_d ($d = 1, 2, \dots$) の混合ガウス関数を式 (1) で表現する。

$$\begin{aligned} f^{(d)}(x) &= - \sum_{j=1}^g \alpha_j^{(d)} \text{Gauss}(\mu_j^{(d)}, \sigma_j^{(d)}) \\ &= - \sum_{j=1}^g \alpha_j^{(d)} \exp \left(- \sum_{i=1}^D \frac{(x_i - \mu_{ij}^{(d)})^2}{2\sigma_{ij}^{(d)}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

本実験では 4 つの 4 次元ガウス関数 ($g = D = 4$) を組み合わせて擬似 IEC ユーザの評価特性の核とした。

式 (1) だけでは通常の EC の fitness 関数と変わりが無い。EC の fitness 関数と異なり、IEC ユーザの評価は毎世代各個体を n 段階評価する離散的相対評価である。核となる式 (1) の絶対的連続評価値を離散的相対評価値へ変換するコンバータを更に加えて擬似 IEC ユーザを実現する。本論文では $n = 5$ 段階評価の IEC を模擬し、各世代の最高個体と最低個体の式 (1) の値幅を 5 等分し、両者の間

にある他の個体はその等分区間のどこにあるかで 1~5 点の離散的相対評価値に変換する。同じ区間にある個体は、フィットネス関数の値は異なっている人間は区別できないものとして同じ評価値を与える。なお、同じ評価値を与えられた個体のフィットネス関数値は実際には異なるため、この差が量子化ノイズとなり最適化手法によっては収束に影響を与える [5]。

2.2 擬似 IEC ユーザの類似度調整法

本論文での並列 IEC では、並列 IEC で協調作業を行う式 (1) の 2 人の擬似 IEC ユーザ (A と B_d と呼ぼう) の類似度を少しずつ変化させ、それに伴う協調効果を収束速度を指標にして評価する。この「少しずつ変化」させる方法には 2 つ考えられる。第 1 は式 (1) の 2 つの混合ガウス関数の誤差を少しずつ変化させる方法、第 2 は式 (1) の混合ガウス関数のパラメータ (振幅、平均、標準偏差) を少しずつ変化させる方法である。本節では次節以降の実験で用いる方法を予備実験で決定する。

第 1 の類似度調整方法では探索変数空間上をメッシュ状に切り分けて、各格子点での 2 つの混合ガウス関数値の差を求め、式 (2) の累積誤差値ができるだけ等間隔になるようパラメータ調整をする。本予備実験では両者の平均と標準偏差を共通にし、振幅 $\alpha_j^{(d)}$ のみを変化させて得た 10 通りの擬似 IEC ユーザ B_d ($d = 1, \dots, 10$) を求めて比較実験に用いる。こうして得られた擬似 IEC ユーザを表 1 に示す。

$$\text{error} = \sum_{x_1=1}^M \sum_{x_2=1}^M \sum_{x_3=1}^M \sum_{x_4=1}^M (\text{Gauss}_A - \text{Gauss}_B)^2 \quad (2)$$

Table 1: Parameters of pseudo IEC users. According to d , the errors between two IEC users, A and B_d , increase equally.

the j -th Gaussian function	1	2	3	4
average $\mu_j^{(d)}$	-2	2	0	-4
standard deviation $\sigma_j^{(d)}$	1.5	1	1	0.8
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user A	3.1	3.4	4.1	2
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_1	4.65	4.42	3.28	1.4
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_2	4.65	3.06	2.87	2.2
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_3	4.03	3.06	2.46	2.6
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_4	4.34	4.76	2.46	1.4
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_5	3.41	3.06	2.05	2.8
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_6	3.1	1.7	2.05	2.4
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_7	4.65	3.74	2.05	2.4
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_8	3.72	4.76	2.05	1.2
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_9	4.34	2.72	2.05	1
amp. $\alpha_j^{(d)}$ of IEC user B_{10}	4.34	1.7	2.05	1

第 2 の類似度調整方法では基準となる擬似 IEC ユーザ A を表 2 で表し、擬似 IEC ユーザ A を構成する 4 つのガウス関数の平均 (中心) μ のみを式 (3) に基づいて変化させ、擬似 IEC ユーザ B_d ($d = 1, \dots, 13$) を得る。

$$\text{Parameter}_{B_d} = \text{Parameter}_A + (1 + \tau)d \quad (3)$$

Table 2: Parameters of Gaussian Mixture model for IEC user A .

the j -th Gaussian function	1	2	3	4
amplitude $\alpha_j^{(d)}$	3.1	3.4	4.1	3
standard deviation $\sigma_j^{(d)}$	1.5	2	1	2
$\mu_j^{(d)}$ of variable x_1	-1	0	-2.5	-2
$\mu_j^{(d)}$ of variable x_2	1.5	-2	-2	1
$\mu_j^{(d)}$ of variable x_3	-2	3	1.5	-1
$\mu_j^{(d)}$ of variable x_4	-2.5	1	3.5	3

ここで、 τ は $[0,1]$ の一様乱数値、 B_d のユーザ番号 d は本実験の場合 1~13 の定数である。

第 1 の類似度調整方法で得られた 2 人の擬似 IEC ユーザの組み合わせとその並列 IEC の収束曲線を図 3 に、第 2 の方法によるものを図 4 に示す。

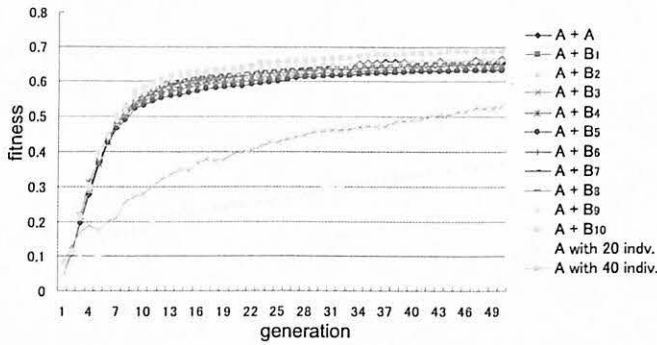


Fig. 3: Convergence curves of parallel IEC with different pairs of pseudo IEC users. IEC user B_d is made to increase errors of Eqn.(2) equally.

本予備実験の結果から、第 2 の類似度調整方法の方が d にしたがって収束特性が徐々に変化しており実験に適している。以降は第 2 の実験で得られた IEC ユーザ対 (A , B_d) で本実験を行う。

3 IEC ユーザ間の類似度と並列 IEC の収束特性

こうして得られた 13 組の擬似 IEC ユーザ対 (A vs. B_d), $d = 1, 2, \dots, 13$ を用いて、表 3 の実験条件下で、両者同じ初期値から 50 世代まで探索を実行する。これを異なる 50 種の初期値で 50 回試行し、世代毎の平均評価値を計算する。

実験では 2 名の擬似 IEC ユーザ (A と B_d) が各々 20 個体で探索を行うので、比較のために、まったく同じ評価特性の理想的な IEC ユーザの場合 ($A + A$)、および、20 個体の単独 IEC と 40 個体の単独 IEC の場合の実験も行った。これらも含めて実験結果を図 4 に示す。2 名の擬似 IEC ユーザの評価特性の異なりが増えるに比例して性能劣化が見て取れる。

この図から探索を終了する世代を決めれば、どの程度に評価特性が離れれば並列 IEC より単独 IEC の方の判断がつく。例えば第 8 世代まで探索をするのであれば、擬似 IEC ユーザ A が擬似 IEC ユーザ B_7 以上に評価特性が異

Table 3: Experimental conditions of 13 parallel IEC, (A vs. B_1), $\dots$, (A vs. B_{13})

# of islands (or IEC users)	2
population size	20
each variable range	$[-7, 9]$
max. generations	50
selection	roulette wheel selection
mutation rate	1%
evaluation levels	5
migration interval	each generation
# of migration individuals	1
elitism	none
τ in Eqn.(3)	0.3
d in Eqn.(3)	1, 2, $\dots$, 13
task	4-D Gaussian mixture model
# of trial runs	50

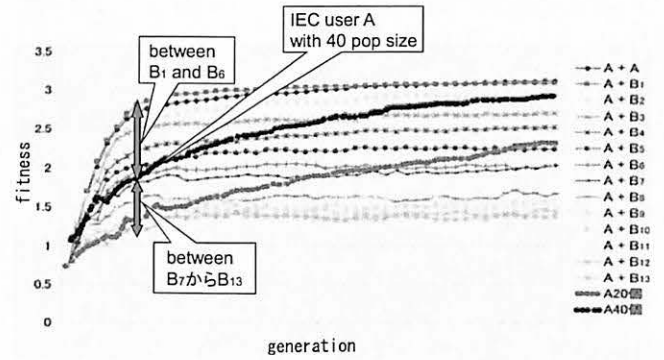


Fig. 4: Convergence curves of parallel IEC with different pairs of pseudo IEC users, where IEC user B_d was made based on Eqn.(3). According to d , the difference of evaluation characteristics between IEC users, A and B_d , becomes big.

なると、擬似 IEC ユーザ A が単独で 40 個体の探索を行った方がよい、擬似 IEC ユーザ B_6 以下の類似であれば (擬似 IEC ユーザ A の 20 個体探索 + 擬似 IEC ユーザ B_d の 20 個体探索) の並列 IEC の方が効果的、と読み取ることができる。ちなみに、終了世代数が第 9 世代、第 16 世代、第 27 世代であれば、各々擬似 IEC ユーザ B_5 以下、 B_4 以下、 B_3 以下であれば並列 IEC がお奨め、それ以上であれば単独 IEC がお奨め、と言える。

4 IEC ユーザ間の平均正規化評価値差と並列 IEC の収束特性

第 3 節では一応目安が得られたが、この数値は実用的には使えない。この目安を 2 人の擬似 IEC ユーザの評価値差の尺度に変換すると実用的な目安となる。すなわち、同じ個体を IEC ユーザ A と B_d それぞれに提示した時の評価点差を目安に、並列 IEC で協力し合うべきか単独 IEC を行うべきかの判断の参考になる指標が得ることが本論文の目的である。

探索空間の定義域に 120,000 点の探索点を用意し、第 3 節で得られた各擬似 IEC ユーザの評価特性に入力して平

均し、2つの疑似IECユーザAと B_d の評価値差を得、第3節での実験結果と組み合わせることで実用的な指標が得られる。本実験では疑似IECユーザ出力を5段階評価値とするが、評価段階数はタスクによって異なるので段階数で正規化（すなわち1段階評価に）しどの評価段階でのIECタスクでも利用できる指標とする。この平均正規化評価値差を式(4)で定義する。

$$\text{平均正規化評価値差} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{x_i}{n} - \frac{x_i^{(d)}}{n} \right| \quad (4)$$

ここで m は個体数、 x_i は基準疑似IECユーザAが評価する i 番目個体への n 段階評価値、 $x_i^{(d)}$ は d 番目の疑似IECユーザ B_d が評価する i 番目個体への n 段階評価値である。本実験では $m = 120,000$ 個、 $s = 5$ 段階評価とする。

疑似IECユーザAと疑似IECユーザ $B_1 \sim B_6$ までの平均正規化評価値差を図5に示す。第8世代まで探索をすれば、前節で述べたように、図4から疑似IECユーザAと疑似IECユーザ B_6 との正規化評価値差0.168以下、すなわち5段階評価であれば平均0.84程度以下であれば並列IECを、それ以上の差があれば単独IECがお奨めとなる。また第9、第16、第27世代まで探索をすれば、各々疑似IECユーザ B_5 、 B_4 、 B_3 との平均正規化評価値差0.156、0.138、0.113が目安となり、 n 段階評価の場合はこれらの値にこの n を乗じた評価点差が目安となる。

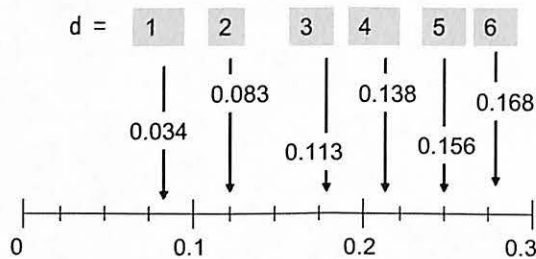


Fig. 5: The difference of normalized average fitness values between two pseudo-IEC users.

5 考察

これまで並列化IECで行って見なければ協調作業の効果は分からなかったし、単独IECと比較するわけではないので並列IECを行ってみても比較が難しいのが現状であった。また本研究のアプローチを取っても、タスクによってIECユーザの評価特性が異なるため、実際には汎用的に評価値の違いを表現する方法はない。

しかし汎用的に効果を事前予測することは不可能にしても、効果の予測の参考にできる尺度が得られたこと、特に、容易に計算できる実用上有用な尺度が得られた点は大きな成果と考える。例えば10世代程5段階評価の並列IECで協調作業をしながらコンピュータグラフィックスを生成するタスクの場合、IEC作業の前に複数のグラフィックスをIECユーザに提示して5段階評価をしてもらい、式(4)で得られた平均正規化評価値差が0.156（5段階評価では0.78）程度よりも評価値が小さいならば、その2名が協力しあって作業する方がよい、という目安が容易に得られる。また、十分かどうかは一層の検証が必要ではあるが、本実験では120,000点の探索点を使ってこの尺度の信頼性を上げるよう実験も行っている。

これらの点から、並列IECを行うかどうかの参考目安としては十分利用できるものと期待できる。

6 結論

本論文では、並列IECを利用すべきか単独IECを利用すべきかの目安になる尺度をシミュレーション実験で求めた。事前に複数の個体に対する評価を行い、IECユーザ間の平均的な評価値の違いを求めるだけで、並列IECを実際に実施することなく当該IECユーザが並列IECで協調作業を効果的に行うことができるかどうか、協調作業をした方が単独IECよりも効果的かどうか、の推定ができ実用的に有用である。

参考文献

- [1] Panagiotis Adamidis, "Parallel evolutionary algorithms: A review," 4th Hellenic-European Conf. on Computer Mathematics and its Applications (HER-CMA'98), Athens, Greece, pp. 479-486 (1998).
- [2] A. M. Brintrup, H. Takagi, A. Tiwari and J. J. Ramsden, "Evaluation of sequential, multi-objective, and parallel interactive genetic algorithms for multi-objective optimization problems," J. of Biological Physics and Chemistry, vol.6, pp.137-146 (2006).
- [3] 三木, 廣安, 小川, 長谷, 吉田「対話型遺伝的アルゴリズムにおける並列分散モデルの有効性」人工知能学会全国大会論文集, pp.149-150 (2002).
- [4] 三木, 廣安, 富岡「並列分散対話型遺伝的アルゴリズムの提案」日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.140-143 (2003).
- [5] Y. Nakano and H. Takagi, "Influence of quantization noise in fitness on the performance of interactive PSO," IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2009), Trondheim, Norway, pp.2416-2422 (2009).
- [6] Erick Cantu-Paz, "A survey of parallel genetic algorithms," Caculateurs Paralleles Reseaux at Systems Repartis, vol.10, no.2, pp.141-171 (1998).
- [7] J. C. Quiroz, S. L. Louis, A. Banerjee, and S. M. Das-cal, "Towards creative design using collaborative interactive genetic algorithms," IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2009), Trondheim, Norway, pp.1849-1856 (May, 2009).
- [8] Hideyuki Takagi, "Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation," Proceedings of the IEEE, vol.89, no.9, pp.1275-1296 (2001).