

# 雌のパラメータを変化させたときのホタルアルゴリズム

武内 将希<sup>†</sup> 松下 春奈<sup>††</sup> 上手 洋子<sup>†</sup> 西尾 芳文<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 徳島大学 〒770-8506 徳島県南常三島 2-1

<sup>††</sup> 香川大学 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20

E-mail: †{masaki,uwate,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp, ††haruna@eng.kagawa-u.ac.jp

あらまし 私達は、ホタルの性別を区別した雌雄区別型ホタルアルゴリズム (FADMF) を提案した。従来のホタルアルゴリズム (FA) において、すべてのホタルの性別は区別しない。しかし、現実において多様性を持つことは非常に重要な意味を持つ。最適化問題を解く上でも、多様な個体が存在することで多様な解を生み出し、ホタルが局所解に陥ることを防ぐ効果があると考えられる。そこで私達は、性別を区別することで従来の FA に多様性を持たせた。本報告では、8 個の最適化ベンチマーク関数に適用し、従来の FA と比較することで、提案手法の有用性を確認する。特に、群全体に対する雌の比率と雌の 2 つのパラメータに注目する。

キーワード ホタルアルゴリズム, 最適化問題, 多様性, 群知能

## Firefly Algorithm Changing Parameters of Females

Masaki TAKEUCHI<sup>†</sup>, Haruna MATSUSHITA<sup>††</sup>, Yoko UWATE<sup>†</sup>,  
and Yoshifumi NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokushima University  
2-1 Minami-Josanjima, Tokushima 770-8506, Japan

<sup>††</sup> Dept. of Electronics and Information Engineering, Kagawa University  
2217-20 Hayashi-cho, Takamatsu, Kagawa, 761-0396, Japan

E-mail: †{masaki,uwate,nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp, ††haruna@eng.kagawa-u.ac.jp

**Abstract** We have proposed Firefly Algorithm Distinguishing between Males and Females. It is important to have a diversity in various fields. This proposed algorithm exists together with male and female fireflies. The movements of males and females are different each other. These difference is inspired from the physical differences. In this study, we compare our proposed algorithm to the conventional Firefly Algorithm by using 8 composition functions of Congress on Evolutionary Computation 2013.

**Key words** Firefly Algorithm, optimization, diversity, swarm intelligence

### 1. ま え が き

近年、最適化問題を解くことが非常に重要になってきている。確率的アルゴリズムは、最適化問題を解く上で非常に有用なアルゴリズムと考えられており、決定論的要素とランダム要素で構成される。決定論的要素しか持たないアルゴリズムは、ほとんどの場合、局所探索アルゴリズムであり局所解に陥る可能性がある。しかし、確率論的アルゴリズムは、ランダム要素を持つためにそのような局所解から抜け出すことができる。

確率的アルゴリズムの代表的なものとして群知能アルゴリズムが挙げられる。群知能アルゴリズムは、動物や昆虫の特徴的な行動から考えられたアルゴリズムで、蟻コロニー最適化 (ACO),

粒子群最適化 (PSO) [1], 蜂コロニー最適化 (BCO), ホタルアルゴリズム (FA) [2] ~ [4], カッコウ探索 (CS) [5] などが代表例として挙げられる。

従来の FA においてホタルの性別は区別されない。しかし、現実において多様性を持つことは生存する上で非常に重要である。生物は多様性を持つことにより多様な環境に対応することができ、予想外の事態が起きても生存することができる。これは、様々な個体がいることにより、環境に適応できる個体がいる可能性が高いからである。そこで私達は、従来のホタルに多様性を持たせるために性別を区別したホタルアルゴリズムである、雌雄区別型ホタルアルゴリズム (FADMF) を提案した [7], [8]。このアルゴリズムにおいて、雄と雌のホタルはそれ

---

**Algorithm 1** ホタルアルゴリズムの擬似コード

---

Objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$   
Initialize a population of fireflies  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$   
Define light absorption coefficient  $\gamma$   
**while**  $t < MaxGeneration$  **do**  
  **for**  $i = 1$  to  $n$ , all  $n$  fireflies **do**  
    **for**  $j = 1$  to  $n$ , all  $n$  fireflies **do**  
      Light intensity  $I_i$  at  $x_i$  is determined by  $f(x_i)$   
      **if**  $I_i > I_j$  **then**  
        Move firefly  $i$  towards  $j$  in all  $d$  dimensions  
      **end if**  
      Attractiveness varies with distance  $r$  via  $exp[-\gamma r]$   
      Evaluate new solutions and update light intensity  
    **end for**  
  **end for**  
  Rank the fireflies and find the current best  
**end while**  
Postprocess results and visualization

---

ぞれ異なる動き方をする。この動き方の違いは自然界の雄と雌のホタルの特徴の違いから考えている。本報告では、FADMFを Congress on Evolutionary Computation (CEC) 2013 で提案された 8 個の合成関数 [6] に適用し、従来の FA と比較する。シミュレーション結果より、提案する FADMF が従来の FA よりも合成関数に対して有用であることを確認する。特に、群全体に対する雌の比率と雌の 2 つのパラメータに注目する。

本報告は、2. で従来のホタルアルゴリズムを説明した後、3. で提案する雌雄区別型ホタルアルゴリズムについて説明する。その後、4. でシミュレーション結果を示し、最後に 5. で結論を述べる。

## 2. ホタルアルゴリズム (FA)

ホタルアルゴリズム (FA) は、2007 年に Yang により提案された、ホタルの点滅の様子から考えられたアルゴリズムである。ホタルは、以下の 3 つの規則に従って他のホタルに引き寄せられ大域的な解を探索する。

- 性別の区別をしない。つまり、すべてのホタルは他のすべてのホタルに引き寄せられる。
- 魅力の強さは光の強さに比例する。つまり、より光っていないホタルは、より光っているホタルに引き寄せられる。魅力の強さと光の強さは距離によって減少する。もっとも光っているホタルはランダムに動く。
- ホタルの光の強さは目的関数によって決まる。つまり、最小化問題をとく場合、より低い場所にいるホタルの方がより強い光を放つ。

魅力の強さは光の強さによって決まるが、光っているホタルとの距離が遠ければ遠いほど光の強さは弱くなる。そのため、ホタルの魅力の強さは次式で定義される。

$$\beta = (\beta_0 - \beta_{min})e^{-\gamma r_{ij}^2} + \beta_{min} \quad (1)$$

ここで、 $\gamma$  は吸引係数、 $r_{ij}$  は位置ベクトル  $x_i$  と  $x_j$  を持つホ

---

**Algorithm 2** 雌雄区別型ホタルアルゴリズムの擬似コード

---

Objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$   
Initialize a population of male fireflies  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$   
Initialize a population of female fireflies  $y_i (i = 1, 2, \dots, m)$   
Define light absorption coefficient  $\gamma$   
**while**  $t < MaxGeneration$  **do**  
  **for**  $i = 1$  to  $n$ , all  $n$  male fireflies **do**  
    **for**  $j = 1$  to  $n$ , all  $n$  male fireflies **do**  
      Light intensity  $I_{xi}$  at  $x_i$  is determined by  $f(x_i)$   
      **if**  $I_{xi} > I_{xj}$  **then**  
        Move male firefly  $i$  towards  $j$  in all  $d$  dimensions  
      **end if**  
    **end for**  
  **for**  $k = 1$  to  $m$ , all  $m$  female fireflies **do**  
    Light intensity  $I_{yk}$  at  $y_k$  is determined by  $f(y_k)$   
    **if**  $I_{xi} > I_{yk}$  **then**  
      Move male firefly  $i$  towards  $k$  in all  $d$  dimensions  
    **else**  
      Move female firefly  $k$  towards  $i$  in all  $d$  dimensions  
    **end if**  
  **end for**  
  Attractiveness varies with distance  $r$  via  $exp[-\gamma r]$   
  Evaluate new solutions and update light intensity  
**end for**  
  Rank the fireflies and find the current best  
**end while**  
Postprocess results and visualization

---

タル  $i$  と  $j$  間の距離、 $\beta_0$  は  $r_{ij} = 0$  の時の魅力の強さ、 $\beta_{min}$  は  $\beta$  の最小値を表している。距離  $r_{ij}$  は次式で計算する。

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{d=1}^D (x_{id} - x_{jd})^2} \quad (2)$$

次式に従って、ホタル  $i$  はより光っているホタル  $j$  に引き寄せられる。

$$x_i = x_i + \Delta x \quad (3)$$

$$\Delta x = \beta(x_j - x_i) + \alpha\epsilon_i \quad (4)$$

ここで、 $\epsilon_i$  はランダムベクトル、 $\alpha$  は次式で定義される。

$$\alpha(t) = \alpha(0) \left( \frac{10^{-4}}{0.9} \right)^{t/t_{max}} \quad (5)$$

$\alpha$  は、反復回数  $t$  が大きくなるにつれて小さくなっていく。最小化問題を解くときの FA の擬似コードを Algorithm1 に示す。

## 3. 雌雄区別型ホタルアルゴリズム (FADMF)

従来の FA においてホタルの性別は区別しない。しかし、現実において多様性を持つことは生存する上で非常に重要である。生物は多様性を持つことにより多様な環境に対応することができ、予想外の事態が起きても生存することができる。これは様々な個体がいることにより、環境に適応できる個体がいる可能性が高いからである。最適化問題を解く上でも多様な個体

が存在することで多様な解を生み出し、局所解に陥ることを防ぐ効果があると考えた。そこで私達は、ホタルの性別を区別したホタルアルゴリズムである、雌雄区別型ホタルアルゴリズム (FADMF) を提案した。提案した FADMF には雄と雌の 2 種類のホタルが共存しており、それぞれ異なる動き方をする。この動き方の違いは自然界のホタルの特徴の違いから考えている。自然界において、雌のホタルの方が身体が大きく、雄のホタルの方が目が大きい。また、雄は他の雄の光と同期しながら雌のホタルを探して飛び回ること、雌は雄の光しか見ないことがわかっている。そこで提案手法において、雌の移動距離を減らし、雌が遠くのホタルに引き寄せられにくくする。また、雄はすべてのホタルに引き寄せられるが、雌は雄にしか引き寄せられない。加えて、雌のパラメータ  $\alpha$  も変化させる。変化させた雌に関する式は次のように定義する。

$$\alpha(t) = \alpha(0) \left( \frac{10^4}{0.9} \right)^{t/2t_{max}} \quad (6)$$

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2/W} \quad (7)$$

$$x = x + \Delta x/V \quad (8)$$

パラメータ  $V$  が増加すると雌の移動距離が減少し、パラメータ  $W$  が増加すると雌が遠くのホタルに引き寄せられにくくなる。最小化問題を解くときの FADMF の疑似コードを Algorithm2 に示す。

#### 4. シミュレーション

私達は、提案した FADMF を 2013 年に Congress on Evolutionary Computation (CEC) で提案された 8 個の合成関数 ( $f_{21} \sim f_{28}$ ) に適用し、その誤差の平均値を従来の FA と比較する。各関数の最適解は 0 からそれぞれ異なる値でシフトされており、最適解の関数値も 0 ではない。各関数は、3~5 個の関数をシフトするなどし形を変え、組み合わせた関数である。探索範囲は  $[-100, 100]^D$  であり、各関数の次元  $D$  は 30 に設定する。ホタルの総数も 30 と設定した。反復回数は 1500 回とし、各シミュレーションは 50 回行い、各シミュレーションの初期値はランダムに与える。本報告では、パラメータ  $V$  と  $W$ 、群全体に対する雌の比率に注目し結果を考察する。まず、群全体に対する雌の比率を 60 パーセントに固定し、パラメータ  $V$  と  $W$  を 1 から 4 まで変化させ結果を比較する。その後、パラメータ  $V$  と  $W$  を最適な値に固定し、群全体に対する雌の比率を 10 から 90 パーセントまで変化させ結果を比較する。

##### 4.1 シミュレーション 1

表 1 に群全体に対する雌の比率を 60 パーセントに固定したときの、パラメータ  $V$  と  $W$  を 1 から 4 まで変化させた結果を示す。表 1 に示されている値は FADMF が従来の FA よりも誤差の平均が小さくなった関数の個数である。

表 1 より、 $(V, W) = (2, 1), (2, 2)$  のときに、FADMF が従来の FA より誤差の平均が少なくなる関数ももっとも多いことがわかる。パラメータ  $V$  に注目すると、パラメータ  $V$  は  $V = 2$  のときに誤差の平均が少なくなる関数ももっとも多いことがわかる。パラメータ  $V$  が  $V = 2$  より大きくなると誤差の

表 1 パラメータ  $V$  と  $W$  を 1 から 4 まで変化させたときの結果 (群全体に対する雌の比率は 60 パーセント)。

|   |   | W |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1 | 2 | 3 | 4 |
| V | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 |
|   | 2 | 6 | 6 | 4 | 3 |
|   | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
|   | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 |

平均が少なくなる関数が急激に減少していく。これは雌の移動する距離が短くなりすぎることにより局所解を抜け出すことができなくなるためだと考えられる。パラメータ  $W$  に注目すると、 $V = 1$  のときを除いて  $W$  が大きくなるにつれて結果が悪くなっていく。 $V = 1$  のときは特に規則性を見つけることができない。したがって、パラメータ  $W$  はパラメータ  $V$  の値を考慮して設定する必要がある。

##### 4.2 シミュレーション 2

シミュレーション 1 より、パラメータの値を  $(V, W) = (2, 1), (2, 2)$  に設定し、群全体に対する雌の比率を 10 から 90 まで変化させた結果と、従来の FA よりも良い結果を得た回数を表 2、表 3 に示す。表 2 がパラメータの値を  $(V, W) = (2, 1)$  に設定した結果、表 3 がパラメータの値を  $(V, W) = (2, 2)$  に設定した結果である。表 2、表 3 に示している値は、誤差の平均値である。また、太字で示している値はもっとも誤差の平均が小さかった値である。

表 2、表 3 より、FADMF は  $f_{22}$  と  $f_{23}$  の 2 つの関数において特に良い結果を得ている。また、 $(V, W) = (2, 1)$  に設定したときは群全体に対する雌の比率は 50 パーセント、 $(V, W) = (2, 2)$  に設定したときは群全体に対する雌の比率が 60 パーセントであるときがもっとも良い結果を得ている。表 2、表 3 とともに最初は雌の比率が増えるに従って従来の FA よりも良い結果を得る関数の数は増えていくが、雌の比率が 60 パーセントを超えると急激に良い結果を得れる関数の数が減少する。これは、雌は雄にしか引き寄せられないため、1 回の反復で移動するホタルの数が減少していくからだと考えられる。従来の FA ではすべてのホタルがより光っているホタルに引き寄せられる。したがって、複数のホタルが同じ局所解に陥ってしまうとなかなか抜け出すことができない。しかし、雌のホタルが存在することで、自分よりも光っているホタルに引き寄せられないホタルが存在することになり、局所解に捕まりにくくなる。表 2 と表 3 を比較すると、良い結果を得た数を平均すると表 3 の方が多い。しかし、表 2 の方がより良い結果を得ることができている。したがって、 $(V, W) = (2, 1)$  の方が有用であると言える。

シミュレーション 1、2 より、雌の移動距離は雄の半分に設定することがもっともよいことがわかる。そのとき、雌は雄と同じだけ遠くのホタルに引き寄せられる方がよく、ほとんどの場合、群全体に対する雌の比率は 50 か 60 パーセントに設定するとよい。

表 2 群全体に対する雌の比率を 10 から 90 まで変化させたときの結果  $((V, W) = (2, 1))$ .

| 関数名<br>雌の比率 | FA                 | FADMF              |                    |                                      |                    |                                      |                                      |                    |                    |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|             |                    | 10                 | 20                 | 30                                   | 40                 | 50                                   | 60                                   | 70                 | 80                 | 90                 |
| $f_{21}$    | $3.30 \times 10^2$ | $3.30 \times 10^2$ | $3.28 \times 10^2$ | $3.35 \times 10^2$                   | $3.39 \times 10^2$ | $3.45 \times 10^2$                   | <b><math>3.25 \times 10^2</math></b> | $3.33 \times 10^2$ | $3.29 \times 10^2$ | $3.35 \times 10^2$ |
| $f_{22}$    | $3.31 \times 10^3$ | $3.47 \times 10^3$ | $2.90 \times 10^3$ | $2.85 \times 10^3$                   | $2.67 \times 10^3$ | <b><math>2.49 \times 10^3</math></b> | $2.61 \times 10^3$                   | $3.14 \times 10^3$ | $3.15 \times 10^3$ | $3.93 \times 10^3$ |
| $f_{23}$    | $3.84 \times 10^3$ | $3.59 \times 10^3$ | $3.45 \times 10^3$ | <b><math>2.83 \times 10^3</math></b> | $2.89 \times 10^3$ | $2.98 \times 10^3$                   | $3.01 \times 10^3$                   | $3.19 \times 10^3$ | $3.95 \times 10^3$ | $4.93 \times 10^3$ |
| $f_{24}$    | $2.17 \times 10^2$ | $2.27 \times 10^2$ | $2.22 \times 10^2$ | $2.22 \times 10^2$                   | $2.17 \times 10^2$ | $2.15 \times 10^2$                   | <b><math>2.15 \times 10^2</math></b> | $2.23 \times 10^2$ | $2.26 \times 10^2$ | $2.36 \times 10^2$ |
| $f_{25}$    | $2.34 \times 10^2$ | $2.30 \times 10^2$ | $2.31 \times 10^2$ | <b><math>2.29 \times 10^2</math></b> | $2.32 \times 10^2$ | $2.30 \times 10^2$                   | $2.33 \times 10^2$                   | $2.35 \times 10^2$ | $2.41 \times 10^2$ | $2.51 \times 10^2$ |
| $f_{26}$    | $2.89 \times 10^2$ | $2.92 \times 10^2$ | $3.01 \times 10^2$ | $3.00 \times 10^2$                   | $2.95 \times 10^2$ | <b><math>2.85 \times 10^2</math></b> | $3.03 \times 10^2$                   | $3.11 \times 10^2$ | $3.08 \times 10^2$ | $3.06 \times 10^2$ |
| $f_{27}$    | $4.56 \times 10^2$ | $5.46 \times 10^2$ | $4.69 \times 10^2$ | $4.69 \times 10^2$                   | $4.58 \times 10^2$ | <b><math>4.50 \times 10^2</math></b> | $4.59 \times 10^2$                   | $4.64 \times 10^2$ | $5.39 \times 10^2$ | $6.62 \times 10^2$ |
| $f_{28}$    | $3.06 \times 10^2$ | $3.05 \times 10^2$ | $3.32 \times 10^2$ | $2.98 \times 10^2$                   | $3.06 \times 10^2$ | $3.09 \times 10^2$                   | <b><math>2.77 \times 10^2</math></b> | $3.50 \times 10^2$ | $3.57 \times 10^2$ | $3.20 \times 10^2$ |
| FA より良かった数  |                    | 3                  | 4                  | 4                                    | 5                  | 6                                    | 6                                    | 2                  | 2                  | 0                  |

表 3 群全体に対する雌の比率を 10 から 90 まで変化させたときの結果  $((V, W) = (2, 2))$ .

| 関数名<br>雌の比率 | FA                                   | FADMF                                |                                      |                    |                                      |                                      |                                      |                    |                    |                    |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|             |                                      | 10                                   | 20                                   | 30                 | 40                                   | 50                                   | 60                                   | 70                 | 80                 | 90                 |
| $f_{21}$    | $3.30 \times 10^2$                   | <b><math>3.05 \times 10^2</math></b> | $3.36 \times 10^2$                   | $3.31 \times 10^2$ | $3.25 \times 10^2$                   | $3.25 \times 10^2$                   | $3.24 \times 10^2$                   | $3.41 \times 10^1$ | $3.29 \times 10^2$ | $3.14 \times 10^2$ |
| $f_{22}$    | $3.31 \times 10^3$                   | $3.55 \times 10^3$                   | $3.11 \times 10^3$                   | $2.75 \times 10^3$ | <b><math>2.63 \times 10^3</math></b> | $2.65 \times 10^3$                   | $2.67 \times 10^3$                   | $2.71 \times 10^3$ | $3.31 \times 10^3$ | $4.36 \times 10^3$ |
| $f_{23}$    | $3.84 \times 10^3$                   | $3.79 \times 10^3$                   | $3.14 \times 10^3$                   | $2.91 \times 10^3$ | <b><math>2.85 \times 10^3</math></b> | $3.12 \times 10^3$                   | $3.11 \times 10^3$                   | $3.13 \times 10^3$ | $3.56 \times 10^3$ | $4.63 \times 10^3$ |
| $f_{24}$    | $2.17 \times 10^2$                   | $2.25 \times 10^2$                   | $2.23 \times 10^2$                   | $2.20 \times 10^2$ | $2.20 \times 10^2$                   | $2.20 \times 10^2$                   | <b><math>2.15 \times 10^2</math></b> | $2.22 \times 10^2$ | $2.28 \times 10^2$ | $2.41 \times 10^2$ |
| $f_{25}$    | $2.34 \times 10^2$                   | $2.30 \times 10^2$                   | <b><math>2.29 \times 10^2</math></b> | $2.31 \times 10^2$ | $2.31 \times 10^2$                   | $2.32 \times 10^2$                   | $2.32 \times 10^2$                   | $2.36 \times 10^2$ | $2.39 \times 10^2$ | $2.51 \times 10^2$ |
| $f_{26}$    | $2.89 \times 10^2$                   | $2.93 \times 10^2$                   | <b><math>2.79 \times 10^2</math></b> | $2.99 \times 10^2$ | $2.99 \times 10^2$                   | $2.96 \times 10^2$                   | $2.97 \times 10^2$                   | $3.02 \times 10^2$ | $3.00 \times 10^2$ | $2.97 \times 10^2$ |
| $f_{27}$    | <b><math>4.56 \times 10^2</math></b> | $5.29 \times 10^2$                   | $4.59 \times 10^2$                   | $4.70 \times 10^2$ | $4.87 \times 10^2$                   | $4.90 \times 10^2$                   | $4.69 \times 10^2$                   | $4.85 \times 10^2$ | $5.61 \times 10^2$ | $6.43 \times 10^2$ |
| $f_{28}$    | $3.06 \times 10^2$                   | $2.93 \times 10^2$                   | $3.22 \times 10^2$                   | $2.89 \times 10^2$ | $3.64 \times 10^2$                   | <b><math>2.85 \times 10^2</math></b> | $2.89 \times 10^2$                   | $2.98 \times 10^2$ | $3.39 \times 10^2$ | $3.01 \times 10^2$ |
| FA より良かった数  |                                      | 4                                    | 4                                    | 4                  | 4                                    | 5                                    | 6                                    | 3                  | 2                  | 2                  |

## 5. 結 論

私達は、ホタルの性別を区別したホタルアルゴリズムである、雌雄区別型ホタルアルゴリズム (FADMF) を提案した。従来のホタルアルゴリズム (FA) ではホタルの性別を区別しない。しかし、FADMF には雄と雌のホタルが共存しており、それぞれ異なる動き方をする。また、雄は雄と雌の両方に引き寄せられるが、雌は雄にしか引き寄せられない。本報告では、2013 年に Congress on Evolutionary Computation (CEC) で提案された 8 個の合成関数に FADMF と従来の FA を適用し、それぞれの誤差の平均値を比較した。その結果、適切なパラメータ設定を行うことにより、FADMF が従来の FA よりも有用であることを確認した。したがって、雌と雄が存在することで従来の FA よりも多様な解を生み出し、ホタルが局所解に陥りにくくなる効果があると言える。

今後の研究は、雄と雌のホタルの動き方を改良することによる性能の更なる向上と、他の有用なアルゴリズムとの比較が考えられる。また、実社会最適化問題への適用も挙げられる。

## 文 献

- [1] J. Kennedy, and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings of the IEEE international conference on neural networks, pp. 1942-1948, 1995.
- [2] X.S. Yang, "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Sec-

ond Edition", Luniver Press, 2010.

- [3] H. Matsushita, "Firefly Algorithm with Dynamically Changing Connections", Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and its Application, pp.906-909, 2014.
- [4] S. Lukasik, and S. Zak, "Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks", Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems, Vol. 5796 of the series Lecture Notes in Computer Science, pp.97-106, 2009.
- [5] X.S. Yang, and S. Deb, "Cuckoo search via Levy flights", Proceedings of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009, India), pp.210-214, 2009.
- [6] J.J. Liang, B.Y. Qu, P.N. Suganthan, and A.G. Hernandez-Diaz, "Problem Definitions and Evaluation Criteria for the CEC 2013 Special Session on Real-Parameter Optimization", Technical Report 201212, Computational Intelligence Laboratory, Zhengzhou University, Zhengzhou China and Technical Report, Nanyang Technological University, Singapore, January 2013.
- [7] M. Takeuchi, H. Matsushita, Y. Uwate, and Y. Nishio, "Investigation of Firefly Algorithm Distinguishing between Males and Females for Minimum Optimization Problems", RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), 2016.
- [8] M. Takeuchi, H. Matsushita, Y. Uwate, and Y. Nishio, "Firefly Algorithm Distinguishing between Males and Females for Minimum Optimization Problems", being submitted to elsewhere.