

# フェロモン作用を考慮したミツバチコロニー最適化

白崎 雄大<sup>†</sup> 下村 将<sup>†</sup> 杉本 雅樹<sup>†</sup> 上手 洋子<sup>†</sup> 西尾 芳文<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 徳島大学工学部 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

E-mail: †{shirasaki, s-sho, sugimoto, uwate, nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp

あらまし 本報告で我々は、他のミツバチを引き付けるフェロモン作用を付加した新たなミツバチコロニー最適化手法 (Pheromone-Based Honeybee Colony Optimization:PBHCO) を提案する。このフェロモンには全てのミツバチを最適な場所に引き付け、集める効果がある。この効果により、今回の提案手法では従来のミツバチコロニー最適化手法と比べ、より素早く最適解に収束することができる。我々はこの新たな手法の性能を、多次元の単峰性関数と多峰性関数において検証する。

キーワード 最適化, フェロモン, ミツバチ, 目的関数

## Pheromone-Based Honeybee Colony Optimization

Yudai SHIRASAKI<sup>†</sup>, Sho SHIMOMURA<sup>†</sup>, Masaki SUGIMOTO<sup>†</sup>, Yoko UWATE<sup>†</sup>, and Yoshifumi NISHIO<sup>†</sup>

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

E-mail: †{shirasaki, s-sho, sugimoto, uwate, nishio}@ee.tokushima-u.ac.jp

**Abstract** In this study, we propose new honeybee colony optimization (BA) containing pheromone action that has the effect to attract other bees. Since many bees are attracted to the best site, the proposed BA can converge to the optimal solution more quickly. We confirm the effectiveness of the proposed new BA for both unimodal and multimodal functions with various dimensions.

**Key words** Optimization, Pheromone, Honeybee, Object function

### 1. ま え が き

ミツバチコロニー最適化 (Bee Algorithm:BA) [1] は線形計画法等の最適化問題に用いられる最適化手法の一つとして知られており、これはミツバチが餌を探る行為 (採餌行動) をモデル化したものである [2]。

初めに、現実世界のミツバチについて説明する。食料を探索するミツバチには、探索バチと派遣バチの2種類が存在する。そして探索バチの採餌行動の原理は、派遣行動とナビゲート行動を組み合わせたものから成る。派遣行動は巣で待機している他のミツバチに探索結果を伝えることで食料源に相応な数のミツバチを派遣する役割、ナビゲート行動は巣で待機している他のミツバチに探索した場所の位置情報を伝え、その場所まで誘導する役割をそれぞれ持つ。そして派遣バチは、探索バチの指示で行動する。これら2種類のミツバチを用いることで、ミツバチは集団行動をとることができる。この行動は昆虫では珍しいとされ、それゆえ、社会的な昆虫とも言われている。

次に採餌行動の手順を説明する。まず、探索バチはランダム

に周囲を探索することで芳醇な食料源を探す。そして芳醇な食料源を発見すると、その食料源に相応数のミツバチを派遣するために、探索バチは巣に戻って尻振りダンスを行なう。このダンスは食料源の距離、方向を巣で待機しているミツバチと共有する役割がある。そして派遣バチが食料源へと向かう。

本研究では、上記のミツバチにおける採餌行動をモデル化したBAを使用する。BAは、ランダム探索と近隣探索を行うことで組み合わせ最適化問題と機能的最適化問題のどちらにも使用することができる。BAの長所は、いくつかの単純な命令の組み合わせだけで非常に高い効率を得られること、また局所解からの脱出が簡単であることである。しかし、ある程度広範囲に探索を行うため、収束しにくいという問題点がある。

そこで我々は、フェロモン特性の利用を提案する。フェロモンを利用する昆虫として、アリやシロアリがよく知られているが、近年の研究でミツバチもフェロモンを行動決定に利用していることが分かってきた。このフェロモンには様々な種類があり、それぞれ異なる特徴を持っている。その中のひとつとして、道しるべフェロモンがある。道しるべフェロモンは、食物のあ

る場所を巢内の仲間知らせるため、食物を見つけた個体が巢への帰り道に残すある種の化学物質である。

本報告では、この道しるべフェロモンを付加させたアルゴリズム (Pheromone-Based Honeybee Colony Optimization:PBHCO) を提案する。この PBHCO の重要な特徴は、フェロモンが全てのミツバチに影響を与えることである。もし探索中のミツバチが局所解に陥ったとする。だがここでフェロモンを最良の場所に配置していると、そのミツバチはフェロモンに引き付けられることで局所解から容易く脱出することができる。したがって PBHCO では局所解から簡単に脱出でき、かつ最良点に配置したフェロモンに引き付けられることで従来の BA より高速に収束することができる。

PBHCO の原理についてはセクション II で説明する。セクション III では、単峰性と多峰性それぞれ 2 つずつ計 4 つの評価関数に対してシミュレーションを行い、従来の BA と比較することにより機能的最適化問題での PBHCO の性能を確認する。

## 2. PBHCO

通常の BA と比較した場合における、PBHCO の重要な特徴は、フェロモンを使用していることである。このフェロモンは全体での最良の位置  $X_{Gbest}$  に配置され、更新する毎に他のミツバチは  $X_{Gbest}$  に引き付けられるように移動していく。途中で現在よりも評価の高い位置が発見された場合は、そちらを最良の位置と更新してフェロモンを配置、次の更新から他のミツバチは新しく更新された位置に引き付けられるようになる。以下より、PBHCO の詳細なアルゴリズムについて示す。[Step. 1] から [Step. 6]、[Step. 8] は従来の BA と同様であり、[Step. 7] で PBHCO の特徴であるフェロモンのアルゴリズムを示す。探索バチの数を  $M$ 、派遣バチの数を  $N$ 、そして評価の高い場所の数を  $b$  とする。

[Step. 1]  $t = 0$ ,  $t_{Ri} = 0$  ( $t_{Ri}$  はグループの初期化カウント) とする。まず、 $i$  匹 ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) の探索バチをランダムに  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$  の位置に配置する。 $D$  は次元数のパラメータである。

[Step. 2] 次に、探索バチ  $X_i(t)$  の位置情報を評価する。そして評価の高い順にランク付け  $z_i$  を行い、上から順に最良の位置と比較的良好な位置を決定する。

[Step. 3]  $X_i$  の周りに派遣バチ  $j = (1, 2, \dots, N_i)$  を配置する。この時、[Step. 2] で行ったランク付けに従って、評価の高い順に派遣バチを各々の  $X_i$  の周りに配置していく。派遣バチの位置情報  $r_{ij}$  を決定する式を下記に示す。

$$r_{ij,d} = x_i(t) + \Delta\phi_{ij}(t), \quad (1)$$

$$\Delta\phi_{ij} = (S_i(t)Q_{ij}, \theta_{ij}), \quad (2)$$

$\theta_{ij}$  は極座標表示、 $Q$  はランダム値  $[0, 1]$  を表す。 $\theta_{ij}$  は偏角と一様に分布した確率変数  $[0, 2\pi]$  から成る。 $S_{ij}$  は派遣バチの探索する最大範囲を示す。

[Step. 4] 現更新数の全ての派遣バチの位置情報  $f(R_{ij})$  を評価する。そして、各々のグループ  $i$  の探索バチの位置情報  $X_i$

を更新する。

[Step. 5] もし  $f(X_i(t+1))$  が  $f(X_i(t)) \leq f(X_i(t))$  の場合、[Step. 6] に移動する。また、 $f(X_i(t+1))$  が  $f(X_i(t)) > f(X_i(t))$  の場合、 $X_i$  を更新し、 $t_{Ri} = 0$  として [Step. 7] に移動する。

[Step. 6] もし  $t_{Ri}$  が  $t_{Ri} < T_R$  の場合、 $t_{Ri} = 0$  として  $S_i(t)$  を初期化する。また、 $t_{Ri}$  が  $t_{Ri} > T_R$  の場合、 $S_i(t+1) = 0.9S_i(t)$  となる。

[Step. 7] 現更新数の全てのミツバチの位置情報  $X_i$  を評価し、全体で最良の位置情報を  $X_{Gbest}$  とする。PBHCO の重要な特徴は、全てのミツバチ  $X$  がフェロモンの影響を受けることである。この時フェロモンは、全体で最良の位置情報  $X_{Gbest}$  に配置される。さらに、フェロモンは  $X_{Gbest}$  からの順位によって引き付ける強さが異なる。つまり、 $X_{Gbest}$  にランキングした際の順位が上位であるほど効果が強く、逆に下位ならば効果が薄いということである。下記に順位におけるフェロモンの強さの式を示す。

$$d_i = p \times \frac{M - (z_i - 1)}{M - 1}, \quad (3)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + d_i Q (X_{Gbest} - X_i), \quad (4)$$

$d_i$  の値によってフェロモンの強さを表す。 $d_i$  の値は順位が下位に行くほど小さくなり、フェロモンの強さも弱くなる。 $p$  は正の加速度係数を示す。

[Step. 8]  $t = t + 1$  を行う。[Step. 3] から [Step. 7] までの作業を  $t = T$  を満たすまで繰り返す。

## 3. シミュレーション

### 3.1 ベンチマーク関数

本報告では、PBHCO の性能を 4 種類のベンチマーク関数を用いることで評価を行う。以下にそれぞれの数式とその最適解の位置を示す。

1. Rosenblock 関数 :

$$f_1(x) = \sum_{d=1}^D (100(x_d^2 - x_{d+1})^2 + (1 - x_d)^2), \quad (5)$$

問題の範囲は  $x \in [-2.048, 2.048]^D$ 、最適解の位置  $x^*$  は  $[1, 1, \dots, 1]$  である。

2. Sphere 関数 :

$$f_2(x) = \sum_{d=1}^D x_d^2, \quad (6)$$

問題の範囲は  $x \in [-5.12, 5.12]^D$ 、最適解の位置  $x^*$  は  $[0, 0, \dots, 0]$  である。

3. Stretch 関数 :

$$f_3(x) = \sum_{d=1}^D ((x_{d+1}^2 + x_d^2)^{0.25} (1 + \sin(50(x_{d+1}^2 + x_d^2)^{0.1}))^2), \quad (7)$$

問題の範囲は  $x \in [-10, 10]^D$ 、最適解の位置  $x^*$  は  $[0, 0, \dots, 0]$  である。

4. Rastrigin 関数 :

$$f_4(x) = 10D + \sum_{d=1}^D (x_d^2 - 10 \cos(2\pi x_d)), \quad (8)$$

問題の範囲は  $x \in [-5.12, 5.12]^D$ , 最適解の位置  $x^*$  は  $[0, 0, \dots, 0]$  である.

$f_1$  と  $f_2$  はピークを 1 つしか持たない単峰性関数で,  $f_3$  と  $f_4$  は多数のピークを持つ多峰性関数である. それゆえ, 多峰性は単峰性よりも局所解に陥りやすい傾向がある. この 4 つの目的関数の最適解の評価値は全て 0 である. また, 本報告では関数の次元数  $D$  は, 30 と 100 の 2 種類に設定する.

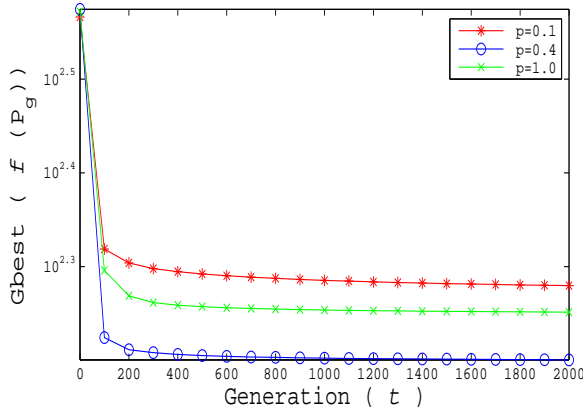


図 1 フェロモンの強さ  $p$  の比較.

### 3.2 シミュレーション結果

比較実験を始める前に, 最適なフェロモンの強さ  $p$  を求める必要がある. 実験には StretchV 関数 ( $D = 100$ ) で行う. その結果を図 1 に示す. 結果から,  $p = 0.4$  が最適な  $p$  の値であると考えられるため, 以下の実験からはこの値を使用する.

次に, PBHCO の性能を調査する. 本報告では, BA, 粒子群最適化 (particle swarm optimization: PSO) [4], PBHCO の 3 つを比較, 評価する. PSO は, BA と同様に目的関数の解くために用いられる一般的な最適化手法の 1 つであり, PSO の特徴が PBCHO のフェロモン作用と似通ったものであるため, 今回比較対象に加えた. まず, BA, PBHCO に以下のパラメータを与える.

$$M = 20, b = 2, e = 6, N_1 = 9, N_2 = 5, z_i = 0.02$$

$b$  は最良の位置,  $e$  は比較的良好位置,  $N_1$  は最良の位置に派遣するハチの数,  $N_2$  は比較的良好位置に派遣するミツバチの数をそれぞれ示している. また, PSO に以下のパラメータを与える.

$$c_1 = c_2 = 1.8, w = 0.5, K = 60$$

$c_1, c_2$  は正の加速度係数,  $w$  は慣性重量,  $K$  は粒子数を示しており,  $K$  は BA や PBHCO の合計のハチの数と等しい.

$D = 30$  の時の結果を表 1 に示す.

$f_2$  と  $f_4$  において, PBHCO が最も良い結果を得た. しかし,  $f_1$  と  $f_3$  ではあまり良い結果を得られず, 代わりに PSO が最も良い結果を得た. これは PSO が低次元が得意であること, また単峰性問題ではピークが 1 つしかないので一点集中する特徴のある PSO は高速で収束できるためと考えられる.

$f_1$  では, PBHCO は BA と似た結果を得た. 図 2 から, フェロモンは低次元の問題ではあまり効果が無いことが分かった.

次に,  $D = 100$  の時の結果を表 2 に示す.

表 1  $D = 30$  のおける BA, PSO, PBHCO の比較

$f$		BA	PSO	PBHCO
$f_1$	Avg.	25.25	<b>21.73</b>	27.41
	Min.	20.76	19.44	24.66
$f_2$	Avg.	7.67e-055	7.36e-054	<b>1.48e-109</b>
	Min.	3.90e-056	1.04e-060	4.25e-111
$f_3$	Avg.	63.54	<b>20.58</b>	26.28
	Min.	58.39	8.33	22.25
$f_4$	Avg.	140.30	61.19	<b>50.15</b>
	Min.	112.43	49.75	34.82

表 2  $D = 100$  のおける BA, PSO, PBHCO の比較

$f$		BA	PSO	PBHCO
$f_1$	Avg.	129.10	203.37	<b>97.31</b>
	Min.	97.04	120.413	95.02
$f_2$	Avg.	5.63e-016	2.46e-002	<b>1.01e-021</b>
	Min.	1.04e-016	6.03e-005	2.05e-023
$f_3$	Avg.	259.13	209.34	<b>150.35</b>
	Min.	254.36	174.09	133.20
$f_4$	Avg.	769.94	471.12	<b>191.65</b>
	Min.	634.78	387.41	120.39

$D = 100$  の時, PBHCO は全ての場合で最も良い結果を得た. PSO は高次元の問題で最適解を発見するのは難しい, なぜなら PSO は最適解を発見する前に収束してしまい, 局所解に陥ってしまうからである. また, 図 3 より, PBHCO のフェロモンが高次元問題や多峰性関数において非常に効果的であることを示している. これらの結果から, BA にフェロモンを追加することは効果的であると言える.

## 4. ま と め

本報告で, 私たちは新しいフェロモンベースのミツバチコロニー最適化 (PBHCO) を提案した. その結果, PBHCO は今回の関数近似の実験で良い結果を得られた. これはフェロモンに他のハチを引き付ける効果があり, それゆえ局所解に陥ることなく高速に最適解に収束できたからである. これより, フェロモンは効果的であると言える. 特に, フェロモンは高次元問題や多峰性関数においてより効果的であると言える. 今後の目標は, 現在は近くに引き付けるだけのフェロモンを用いているが, それとは別の異なった効果を持ったフェロモンを加えた場合の検証を行うことである.

## 文 献

- [1] D.T. Pham, A. Ghanbarzaden, E. Koc, S. Otri, S. Rahim and M. Zaidi, "The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimization Problems," Intelligent Production Machines and Systems, pp. 454-459, Cardiff University, UK, 2006.
- [2] K. Guney and M. Onay, "Bees algorithm for interference suppression of linear antenna arrays by controlling the phase-only and both the amplitude and phase," Faculty of Engineering, Erciyes University, 2007.
- [3] M.S. Blum, *Honey Bee Pheromones in the Hive and the Honey Bee*, pp. 385-389, Dadant and Sons, 1992.
- [4] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

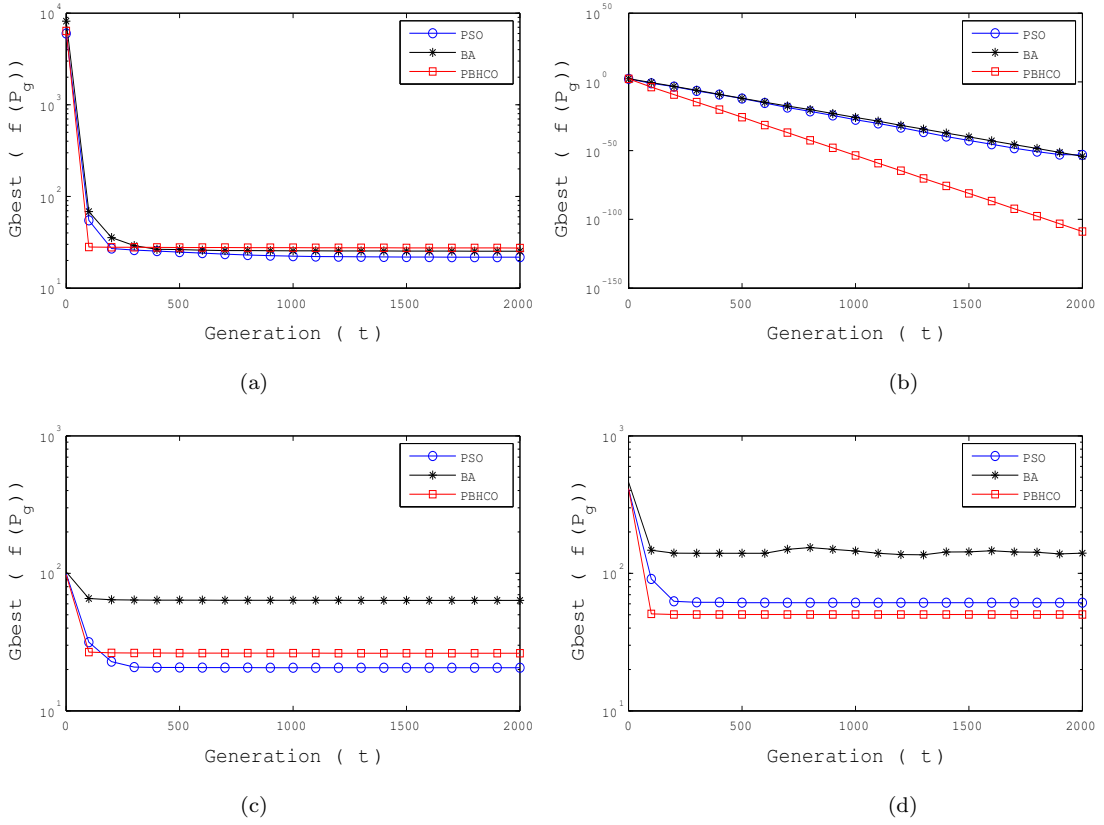


図2  $D = 30$  における4つの関数の  $G_{best}$  平均。  
 (a) Rosenblock 関数 . (b) Sphere 関数 . (c) Stretch 関数 . (d) Rastrigin 関数 .

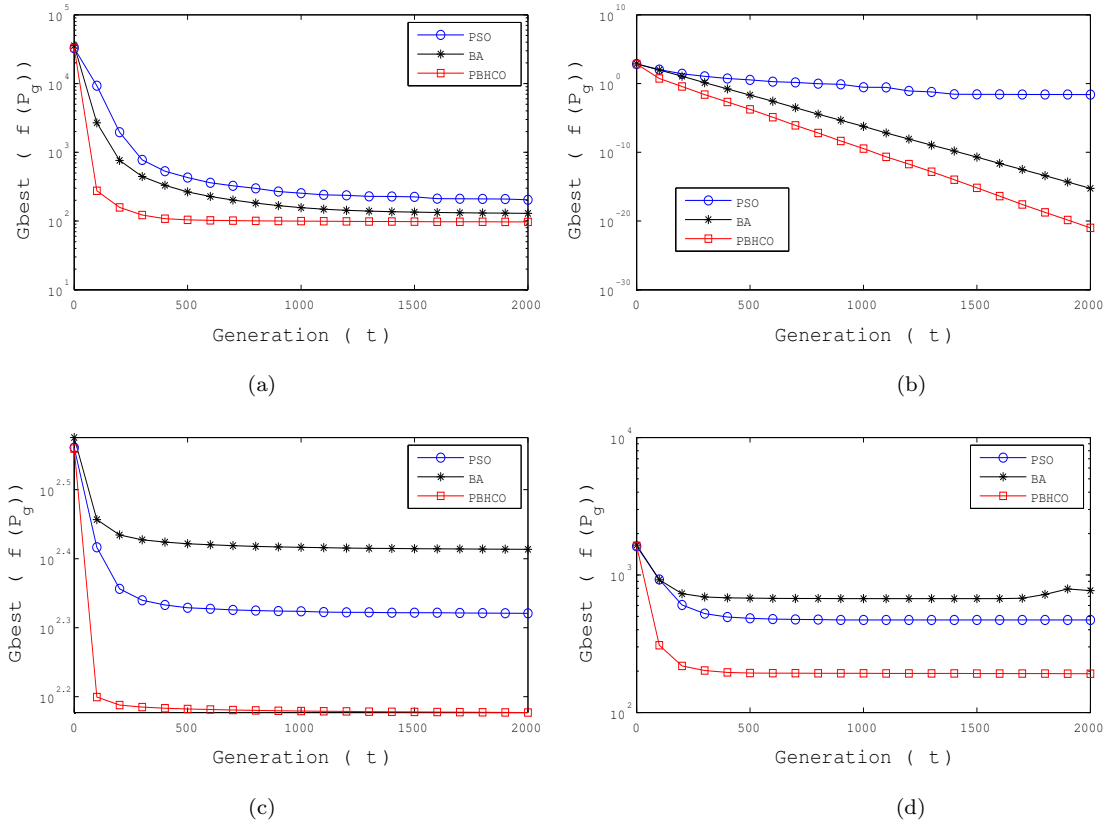


図3  $D = 100$  における4つの関数の  $G_{best}$  平均。  
 (a) Rosenblock 関数 . (b) Sphere 関数 . (c) Stretch 関数 . (d) Rastrigin 関数 .