

度、入部、度低。的，对，并对。长等^[7]出 Lévy 的，从入，采 Lévy 策，地捕。Topal 等^[8]出一动，成，当部，对，等^[9]的木到，利对策的。Gandomi 等^[10]出策的，并利不的产的策的对，Niknam 等^[11]出，的，并电 UC、，UC。Wang 等^[12]出差 UCVA 划，表

对 的：
(1) 对 存 的 变，包参、参的木策等；(2) 的，本 的^[13]。本 出的策第 1，木到，入部，的 对 的 度。

1 本

1.1 基本蝙蝠算法的位置和速度更新

比 当 布 的 点，标 (度) 的大 断 处 的；动 测 标的程比 标的 的程，程 定 初 的^[14]。初，对 的 初，程也 对 度，的 (1)~ (3)。

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (1)$$

$$v_i = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*)f_i \quad (2)$$

$$x_i = x_i^{t-1} + v_i \quad (3)$$

: f_i 第 i 出的波； f_{\max} f_{\min}

的下； $\beta \in [0, 1]$ 从 布 的； v_i^{t-1} 别第 i $t-1$ 的度； x_i^{t-1} 别第 i $t-1$ 的； x_* 程部，下：
$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \epsilon A^t \quad (4)$$

: x_{new} 的； x_{old} 的； $\epsilon \in [-1, 1]$ ； A^t t 的度。

1.2 响度和脉冲发射率

标，对度 A_i 冲 r_i 。初段， A_i 大， r_i ，到标， A_i ， r_i ^[15]。 A_i r_i 下：

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (5)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (6)$$

: α γ 常， $0 < \alpha < 1$ ， $\gamma > 0$ ； r_i^0 冲 的大。

2 的

2.1 椋鸟群行为

常 产 一 的。当到敌，一 变，并，此得 变，从 避 敌 的 捕。 都 的 流， 此 出 的 传 播， 称。 一 般 的 7，7 别 的 7，遍 布，达到 的。一 表，6 7 成一 的 7，此 的 7，以 的^[16]。

2.2 引入椋鸟群行为的蝙蝠算法^[17] (SFBA)

本 程 入 部，。 木 本 部，，避 入 部。当 迭代 差 超 (count_limit)，挑 出 一定 (max_num) 度 差 的，对 的 度 变，挑 出，的。

对 变 , (7)对 i 的

$$x_i^{t'} = x_i^t + r_1 \left(\frac{1}{7} \sum_{n \in N_k} x_n \right) \quad (7)$$

: $x_i^{t'}$ 的 ; r_1 $-1 \sim 1$ 的 ;
 N_k i 的 7 的 编 。对
i, 凡 得 出 的 7
。 出 的 成

对 度变 , (8)对 i 的 度

$$v_i^{t'} = v_i^t + r_2 \left(\frac{1}{7} \sum_{n \in N_k} v_n \right) \quad (8)$$

: $v_i^{t'}$ 的 度; r_2 $0 \sim 1$ 的 。
凡 得 出 i 的 7
, 的 度 度,成

2.3 针对位置和速度引入权重

定的 度不 ,
差,本 对 度
别 w_1 w_2 , (9) (10)。
 w_1 定 变 递 。初 大,
, 迭代次 的 ,迭代
, 利 部 。 递 的

$$v_i^t = w_1 v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*) f_i \quad (9)$$

$$x_i^t = w_2 x_i^{t-1} + v_i^t \quad (10)$$

$$w_1 = w_{\max} - \frac{(w_{\max} - w_{\min}) I_{\text{ter}}}{I_{\text{ter_max}}} \quad (11)$$

: w_{\max} w_1 的 ; w_{\min} w_1 的下 ; I_{ter}
迭代次 ; $I_{\text{ter_max}}$ 大迭代次 。

2.4 SFBA 算法流程

(1) 标 $f(x)$,初 的本参
,包 大 Pop_Size、波 f 波
的下 $[f_{\max}, f_{\min}]$ 、 $I_{\text{ter_max}}$ 、的 x
度 v 、大度 A 参 α 、大冲
 r_i^0 初 及 参 γ 、
count_limit。

(2) 对 度 $f(x)$,
出 x_* 。

(3) 按 (1) 产 的

(4) (9) (10)对 的 度

, 对 度 的 w_1 递
, (11)。

(5) 产 一 rand, rand大 冲

r_i , (4),从处 的 i
,对 动,

产 一 部 x_{new} 代 i 的
(6) 度 (标);

(7) rand 度 A_i
的 标 标 ,

,并 冲 度 A_i ,
(5)、(6)。

(8) 对 变 的 , 出
度 。

(9) 断 度 大 等
一代 度 , count+1(count
初 0)。

(10) 断 count 大 count_limit,
,挑 出 度 差 的 max_num ,利

(7) (8) 部 度 ,
,并从 出 ,

,并 count=0。

(11) 当迭代次 大迭代次 , 到步

(2) 迭代 。

(12) 迭代 , 出 。

3 的参 择

SFBA 参 包 $w_1, w_2, \text{count_limit},$
max_num, w_1 w_{\max} w_{\min} 定, 此
择的参 $w_{\max}, w_{\min}, w_2, \text{count_limit},$
max_num, 5 参 定。以
Sphere , 100,迭
代次 Iter_max 500 次, 别 20 次, 20
次 的 参 , 定 $w_{\max},$
 w_{\min} w_2 的 。

表 1 出 w_{\max} 0.45、0.46、0.47、0.48、
0.49、0.50、0.51、0.52、0.53、0.54、0.55, $w_{\min} =$
0.1, $w_2 = 0.50$ 的 , 出, $w_{\max} =$
0.50 。

表 2 出 w_{\min} 0.05、0.06、0.07、0.08、
0.09、0.10、0.11、0.12、0.13、0.14、0.15, $w_{\max} =$
0.50, $w_2 = 0.50$ 的 , 出, $w_{\min} =$
0.10 。

表 3 出 w_2 0.45、0.46、0.47、0.48、
0.49、0.50、0.51、0.52、0.53、0.54、0.55, $w_{\max} =$
0.50, $w_{\min} = 0.10$ 的 , 出, $w_2 =$
0.50 。

表 1 w_{\max} 参 表

Table 1 Parameter value table of w_{\max}

w_{\max}	
0.45	5.8933×10^{-13}
0.46	4.7709×10^{-15}
0.47	1.4930×10^{-17}
0.48	8.3424×10^{-18}
0.49	5.3875×10^{-18}
0.50	2.3085×10^{-18}
0.51	4.4893×10^{-18}
0.52	5.9483×10^{-17}
0.53	9.1531×10^{-15}
0.54	6.0439×10^{-14}
0.55	8.5583×10^{-10}

表 2 w_{\min} 参 表

Table 2 Parameter value table of w_{\min}

w_{\min}	
0.05	9.5208×10^{-9}
0.06	4.4020×10^{-14}
0.07	3.6359×10^{-15}
0.08	1.8493×10^{-17}
0.09	1.2568×10^{-18}
0.10	4.0248×10^{-19}
0.11	6.4800×10^{-18}
0.12	6.1952×10^{-18}
0.13	8.6325×10^{-17}
0.14	9.3657×10^{-14}
0.15	5.2026×10^{-13}

表 3 w_2 参 表

Table 3 Parameter value table of w_2

w_2	
0.45	7.9420×10^{-11}
0.46	4.2350×10^{-14}
0.47	3.4043×10^{-15}
0.48	3.1922×10^{-17}
0.49	2.3483×10^{-17}
0.50	1.4795×10^{-18}
0.51	3.3221×10^{-18}
0.52	6.8396×10^{-17}
0.53	1.6504×10^{-17}
0.54	8.9435×10^{-13}
0.55	8.2482×10^{-12}

表 4 出 count_limit 1、2、3、4、5 的
， 出，count_limit=3

表 5 出 max_num 13、17、19、22、23 的
， 出，max_num=19

表 4 count_limit 参 表

Table 4 Parameter value table of count_limit

count_limit	
1	3.0395×10^{-15}
2	1.4039×10^{-18}
3	7.3568×10^{-19}
4	4.3465×10^{-17}
5	9.4520×10^{-16}
6	5.3949×10^{-13}

表 5 max_num 参 表

Table 5 Parameter value table of max_num

max_num	
13	1.9532×10^{-10}
17	5.0304×10^{-17}
19	2.2095×10^{-18}
22	8.4202×10^{-15}
23	3.4050×10^{-11}

本,对 $w_{\max} = 0.50, w_{\min} = 0.10, w_2 = 0.50, \text{count_limit} = 3, \text{max_num} = 19$, 采 参 测 , 一步 的 。

4 测

本 出 的 的
， 择 5 标 测 (表 6) 测 。

本 的
100, 迭代次 500 次。 本 ,
的 大 冲 度 $A_i = 0.25$, 大 冲
 $r_i^0 = 0.75$, 度 参 $\alpha = 0.95$, 冲
参 $\beta = 0.95$, $f \in [0, 2]$ 。
， 大 冲 度 A_i 、 大 冲 r_i^0 、
度 参 冲 参 β 本
— , $w_{\max} = 0.50, w_{\min} = 0.10, w_2 = 0.50,$
 $\text{count_limit} = 3, \text{max_num} = 19$ 。 BA SFBA

度 d 10 20 别 20 次, 20 次的 差, 表 7 。
、差 并 20 次 的 标

表 6 标 测

Table 6 Benchmark functions

称		变	
Ackley	$f_1(x) = -20 \exp(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}) - \exp[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)] + 20 + e$	$[-32, 32]$	0
Griewank	$f_2(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}}) + 1$	$[-600, 600]$	0
Rastrigin	$f_3(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$	$[-5.12, 5.12]$	0
Rosenbrock	$f_4(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_i^2 - x_{i+1})^2 + (x_i - 1)^2]$	$[-30, 30]$	0
Sphere	$f_5(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	$[-100, 100]$	0

表 7 标 测 对比

Table 7 Comparison of Benchmark functions optimization results

度		差	标 差	
f_1	10	BA 6.3370×10^{-1} SFBA 1.7595×10^{-12}	1.796 9 7.5590×10^{-9} 1.411 3 8.0225×10^{-10}	2.6791×10^{-1} 1.6761×10^{-9}
	20	BA 1.580 4 SFBA 2.8040×10^{-12}	3.160 6 7.4265×10^{-9} 2.300 2 1.1585×10^{-9}	4.3252×10^{-1} 1.9974×10^{-9}
f_2	10	BA 1.2845×10 SFBA 0	5.9175×10 0 3.5545×10 0	1.0595×10 0
	20	BA 1.2562×10^2 SFBA 0	2.1554×10^2 0 1.7230×10^2 0	2.5421×10 0
f_3	10	BA 1.2314×10 SFBA 0	3.8057×10 0 2.3035×10 0	7.990 9 0
	20	BA 4.7267×10 SFBA 0	1.2191×10^2 0 7.5119×10 0	1.8467×10 0
f_4	10	BA 7.938 9 SFBA 8.941 9	2.7746×10^3 9.000 0 4.0338×10^2 8.988 9	7.1032×10^2 1.6561×10^{-2}
	20	BA 2.7340×10 SFBA 1.8935×10	1.5553×10^3 1.9000×10 2.8892×10^2 1.8991×10	4.4240×10^2 1.6837×10^{-2}
f_5	10	BA 2.8000×10^{-2} SFBA 2.0325×10^{-22}	7.4300×10^{-2} 1.7391×10^{-17} 5.7005×10^{-2} 1.1141×10^{-18}	1.1171×10^{-2} 3.7877×10^{-17}
	20	BA 2.9430×10^{-1} SFBA 4.2686×10^{-22}	1.282 4 4.0970×10^{-17} 4.8477×10^{-1} 2.7087×10^{-18}	2.0771×10^{-1} 2.3822×10^{-17}

测 f_1, f_2, f_3 测 ,BA 度 低, 差, SFBA 得 的 度, 。测 f_4 一 典 的病 单 , ,从表 7 出 BA SFBA 不 。测 f_5 单的单 , 变 一 点, BA 的 比 下, SFBA 的 度 , 出部 度的 ,测 迭代 对比 1~ 5 。

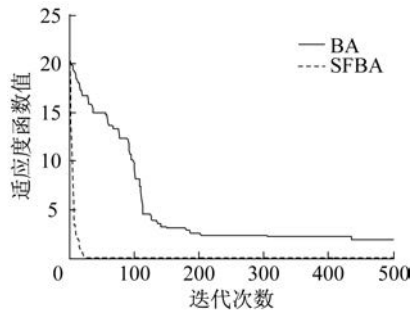


图 1 测 f_1 迭代 对比($d=20$)
Fig. 1 Comparison of Benchmark function f_1 's iterative curves ($d=20$)

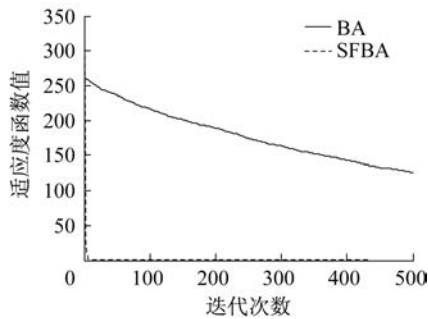


图 2 测 f_2 迭代 对比($d=20$)
Fig. 2 Comparison of Benchmark function f_2 's iterative curves ($d=20$)

一步 本 的 , SFBA [18] Lévy 策 的 (DLBA) [19] 遗传 叉 的

表 8 的 BA 5 测

Table 8 Comparison of improved BA algorithms in 5 Benchmark function optimization results

	SFBA		GHBA		DLBA	
f_1	$2.804\ 0\times 10^{-12}$	$1.158\ 5\times 10^{-9}$	1.31×10^{-7}	3.41×10^{-2}	$4.717\ 4\times 10^{-7}$	6.4097×10^{-6}
f_2	0	0	3.65×10^{-7}	1.41×10^{-5}	$1.381\ 8\times 10^{-7}$	$5.010\ 3\times 10^{-6}$
f_3	0	0	0	0	$5.999\ 8\times 10^{-8}$	$4.470\ 5\times 10^{-6}$
f_4	$1.893\ 5\times 10$	$1.899\ 1\times 10$	7.64×10^{-5}	1.51	5.667 2	7.390 3
f_5	$4.268\ 6\times 10^{-22}$	$2.708\ 7\times 10^{-18}$	8.08×10^{-19}	5.65×10^{-18}	$4.305\ 7\times 10^{-8}$	$4.803\ 6\times 10^{-6}$

(GHBA) 对比, 表 8 。从表 8 , SFBA 的 GHBA、 DLBA。

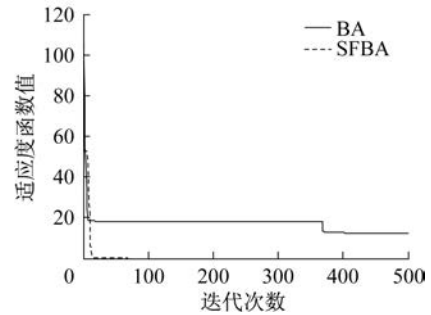


图 3 测 f_3 迭代 对比($d=10$)
Fig. 3 Comparison of Benchmark function f_3 's iterative curves ($d=10$)

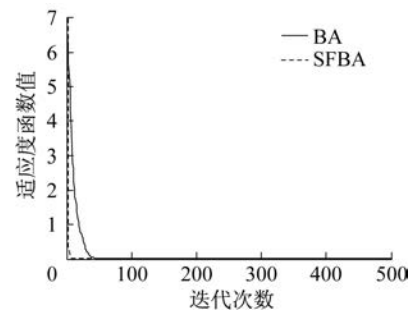


图 4 测 f_4 迭代 对比($d=10$)
Fig. 4 Comparison of Benchmark function f_4 's iterative curves ($d=10$)

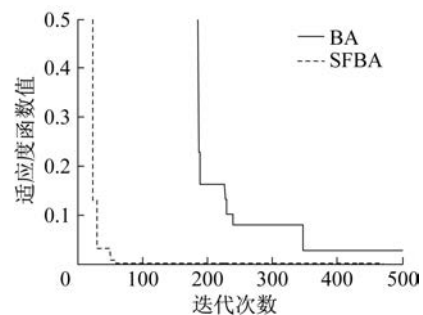


图 5 测 f_5 迭代 对比($d=10$)
Fig. 5 Comparison of Benchmark function f_5 's iterative curves ($d=10$)

5 PID 参 定

一步本 的 ,
PID 参 [20]。
被对 ,传递 下:

$$G(s) = \frac{400}{60s^2 + 50s} \quad (12)$$

采 2 ms, 入 - ,采
差 对 标 参 择的
标 , 大, 标 入
入 , 标 (13) 。

$$J = \int_0^\infty [\omega_1 |e(t)| + \omega_2 u^2(t)]dt + \omega_3 t_u \quad (13)$$

:J 表 标 ;e(t)表 差;u(t)
出;t_u ;\omega_1, \omega_2, \omega_3 。
避 超调,采 惩 ,一旦出 超调,
超调 标 的 - ,此 标
(14) 。

$$J = \int_0^\infty [\omega_1 |e(t)| + \omega_2 u^2(t) + \omega_4 |ey(t)|]dt + \omega_3 t_u \quad (14)$$

if ey(t) < 0
:\omega_4 , \omega_4 \gg \omega_1 ;ey(t) = y(t) - y(t-1), y(t) 被 对 出。

SFBA , 100, \omega_{max} = 0.50, \omega_{min} = 0.10, \omega_2 = 0.5, count_limit = 3, max_num = 19, PID 参 K_p, K_i, K_d 别 [0, 40], [0, 4], [0, 4], \omega_1 = 0.999, \omega_2 = 0.001, \omega_3 = 100, \omega_4 = 2.0。迭代 100 次, BA PID 参 K_p = 31.7116, K_i = 3.3547, K_d = 0.1472, 标 J = 79.1896, 度 J, K_p, K_i, K_d 的 程 6 。 SFBA PID 参 K_p = 35.0534, K_i = 3.5276, K_d = 0.0031, 标 J = 78.3527, 度 J, K_p, K_i, K_d 的 程 7 。 BA SFBA , PID 8 。 SFBA 本 超调,调 短, 度

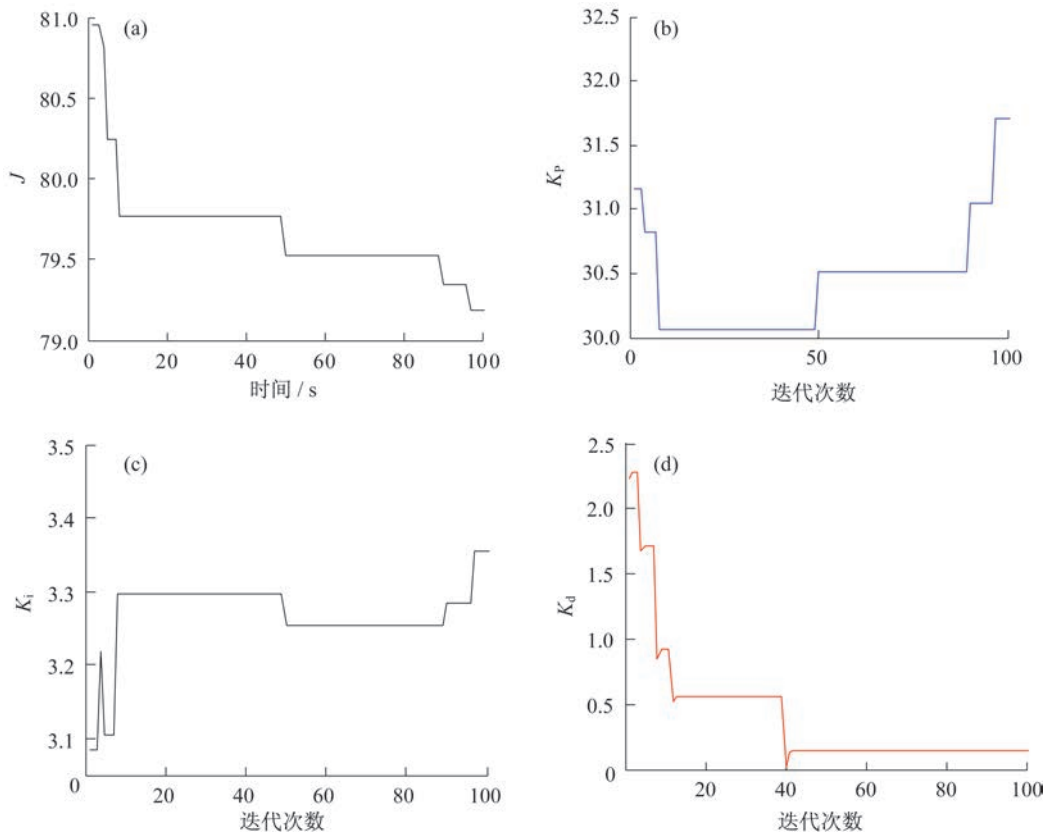


图 6 BA 迭代
Fig. 6 Iterative curves of BA algorithm

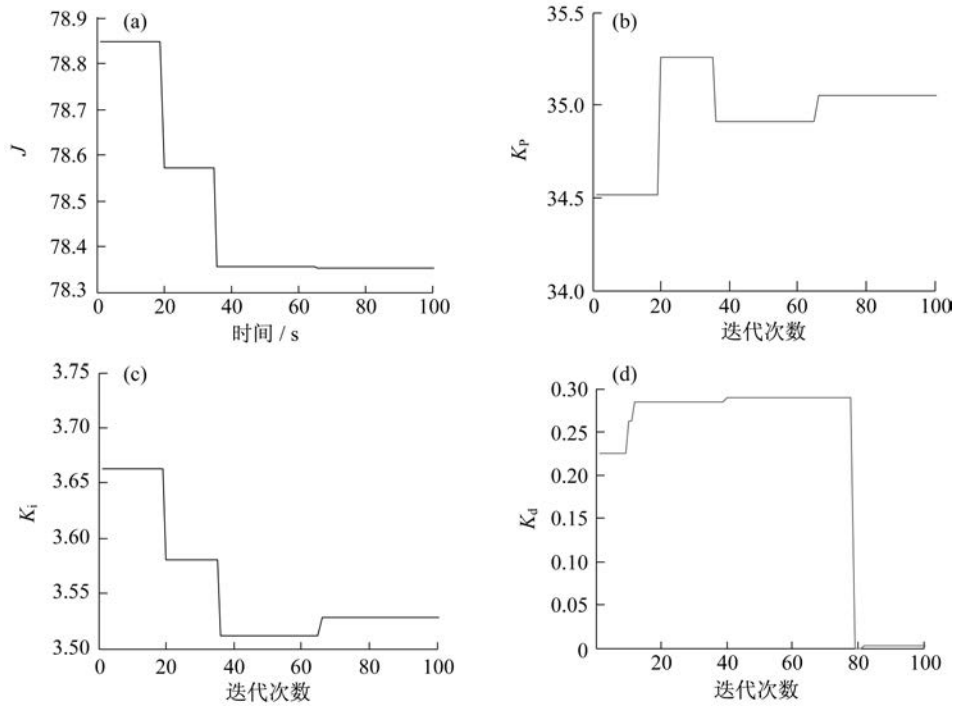


图 7 SFBA 的迭代

Fig. 7 Iterative curves of SFBA algorithm

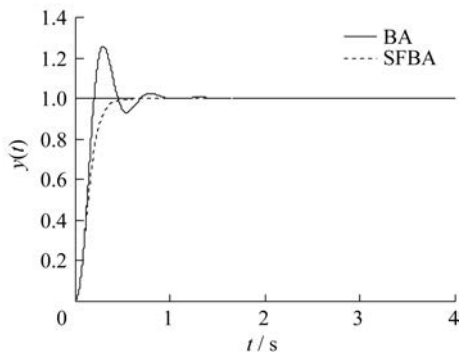


图 8 BA 与 SFBA 的

Fig. 8 Unit-step response of BA algorithm and SFBA algorithm

6

本文对 BA 算法的收敛速度、输入部
、精度不等点, 出 一
的 (SFBA), 且 递
部。 5 不 的 单
测 部, BA 比,
SFBA 。此, SFBA
PID 参, 表 SFBA
BA 。

参考文献:

[1] YANG X S. A new metaheuristic bat-inspired algorithm[J]. Physics, 2010, 284: 65-74.
[2] , . 的 调度的 [J]. 东 大 报 (版), 2013, 39(3): 345-350.
[3] , 杜 , 陈 , 等. 的 程动 标 [J]. 东 大 报 (版), 2014, 40(4): 449-457.
[4] YANG X S, GANDOMI A H. Bat algorithm: A novel approach for global engineering optimization[J]. Engineering Computation, 2012, 29(5): 267-289.
[5] MARICHELVAM M K, PRABAHARAN T, YANG X S, et al. Solving hybrid flow shop scheduling problems using bat algorithm[J]. International Journal of Logistics Economics & Globalisation, 2013, 5(1): 15-29.
[6] YANG X S. Bat algorithm for multi-objective optimization [J]. International Journal of Bio-Inspired Computation, 2011, 3(5): 267-274.
[7] 长, 春. Lévy 的 [J]. 报, 2013(3): 240-246.
[8] TOPAL A O, ALTUN O. A novel meta-heuristic algorithm: Dynamic virtual bats algorithm [J]. Information Sciences, 2016, 354: 222-235.
[9] , , . 的 [J]. 报, 2014(5): 717-722.

(下转第 562 页)

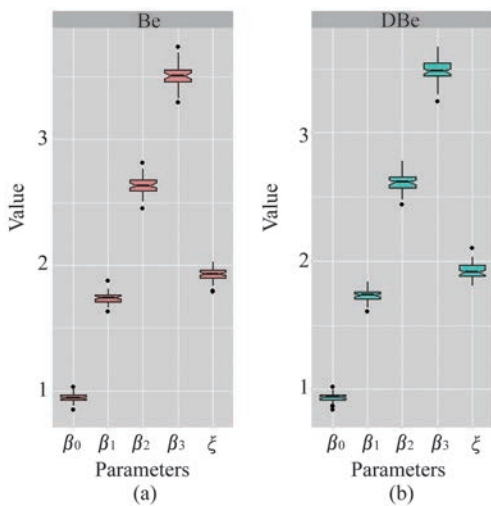


图 1 布 贝 参 度对比

Fig. 1 Comparative analysis of distributed Bayes vs. classical method

4

本 对 不 变 的 ，
布 贝 ， 布 贝
(Metropolis-Hastings 抽) 参
， 表 一 定 的 ，

得 的 。

一 步 到 Gibbs 抽 的 布 贝

。

参 考 文 献 :

[1] CZADO C,SANTNER T J. The effect of link misspecification on binary regression inference [J]. Journal of Statistical Planning and Inference,1992,33(2):213-231.
[2] WANG X,DEY D K. Generalized extreme value regression for binary response data: An application to B2B electronic payments system adoption [J]. The Annals of Applied Statistics,2010,4(4):2000-2023.
[3] STEVEN S L,BLOCKER A W,BONASSI F V . Bayes and big data: The consensus Monte Carlo algorithm [J]. International Journal of Management Science and Engineering Management,2016,11(2):78-88.
[4] GHOSH S K, MUKHOPADHYAY P, LU J C. Bayesian analysis of zero-inflated regression models [J]. Journal of Statistical Planning and Inference,2006,136(4):1360-1375.
[5] CHIPMA H A,GEORGE E I, MCCULLOCH R E. BART: Bayesian additive regression trees [J]. The Annals of Applied Statistics,2010,4(1):266-298.
[6] DEAN J, GHEMAWAT S. Mapreduce: Simplified data processing on large clusters [J]. Communications of the ACM,2008,51(1):107-113.

(上接第 532 页)

[10] GANDOMI A H, YANG X S. Chaotic bat algorithm [J]. Journal of Computational Science,2014,5(2):224-232.
[11] NIKNAM T, BAVAF A F, AZIZIPANAH-ABARGHOOEE R. New self-adaptive bat-inspired algorithm for unit commitment problem [J]. IET Science Measurement Technology, 2014,8(6):505-517.
[12] WANG G G, CHU H C E, MIRJALILI S. Three-dimensional path planning for UCAV using an improved bat algorithm [J]. Aerospace Science & Technology,2016,49:231-238.
[13] AFRABANDPEY H,GHAFFARI M, MIRZAEI A, et al. A novel bat algorithm based on chaos for optimization tasks [C]//Iranian Conference on Intelligent Systems. USA:IEEE, 2014:1-6.
[14] RAGHAVAN S,MARIMUTHU C,SARWESH P, et al. Bat algorithm for scheduling workflow applications in cloud [C]// International Conference on Electronic Design, Computer Networks & Automated Verification. USA: IEEE, 2015: 139-144.
[15] YILMAZ S, KÜÇÜKSİLE E U. A new modification approach on bat algorithm for solving optimization problems [J]. Applied Soft Computing,2014,28(5):259-275.
[16] YOUNG G F,SCARDOVI L, CAVAGNA A, et al. Starling flock networks manage uncertainty in consensus at low cost [J]. PloS Computational Biology,2013,9(1):e1002894.
[17] NETJINDA N, ACHALAKUL T, SIRINAOVAKUL B. Particle swarm optimization inspired by starling flock behavior [J]. Applied Soft Computing,2015,35(C):411-422.
[18] XIE J,ZHOU Y, CHEN H. A novel bat algorithm based on differential operator and Lévy flights trajectory [J]. Computational Intelligence & Neuroscience,2013(2013):453-812.
[19] ,丁 成. 遗 传 叉 的 的 [J]. ,2015(2):23-26.
[20] . PID MATLAB [M]. 北 :电 出版 ,2004.