

Black-Box Optimization Benchmarking Template for the Comparison of Two Algorithms on the Noiseless Testbed

Draft version *

Forename Name

ABSTRACT

Categories and Subject Descriptors

G.1.6 [Numerical Analysis]: Optimization—*global optimization, unconstrained optimization*; F.2.1 [Analysis of Algorithms and Problem Complexity]: Numerical Algorithms and Problems

General Terms

Algorithms

Keywords

Benchmarking, Black-box optimization

1. RESULTS

Results from experiments according to [?] on the benchmark functions given in [?, ?] are presented in Figures 1, 2 and 3 and in Tables 1. The **expected running time (ERT)**, used in the figures and table, depends on a given target function value, $f_t = f_{\text{opt}} + \Delta f$, and is computed over all relevant trials as the number of function evaluations executed during each trial while the best function value did not reach f_t , summed over all trials and divided by the number of trials that actually reached f_t [?, ?]. **Statistical significance** is tested with the rank-sum test for a given target Δf_t (10^{-8} as in Figure 1) using, for each trial, either the number of needed function evaluations to reach Δf_t (inverted and multiplied by -1), or, if the target was not reached, the best Δf -value achieved, measured only up to the smallest number of overall function evaluations for any unsuccessful trial under consideration.

2. REFERENCES

- [1] S. Finck, N. Hansen, R. Ros, and A. Auger.
Real-parameter black-box optimization benchmarking

2009: Presentation of the noiseless functions. Technical Report 2009/20, Research Center PPE, 2009. Updated February 2010.

- [2] N. Hansen, A. Auger, S. Finck, and R. Ros.
Real-parameter black-box optimization benchmarking 2012: Experimental setup. Technical report, INRIA, 2012.
- [3] N. Hansen, S. Finck, R. Ros, and A. Auger.
Real-parameter black-box optimization benchmarking 2009: Noiseless functions definitions. Technical Report RR-6829, INRIA, 2009. Updated February 2010.
- [4] K. Price. Differential evolution vs. the functions of the second ICEO. In *Proceedings of the IEEE International Congress on Evolutionary Computation*, pages 153–157, 1997.

*Submission deadline: March 28th.

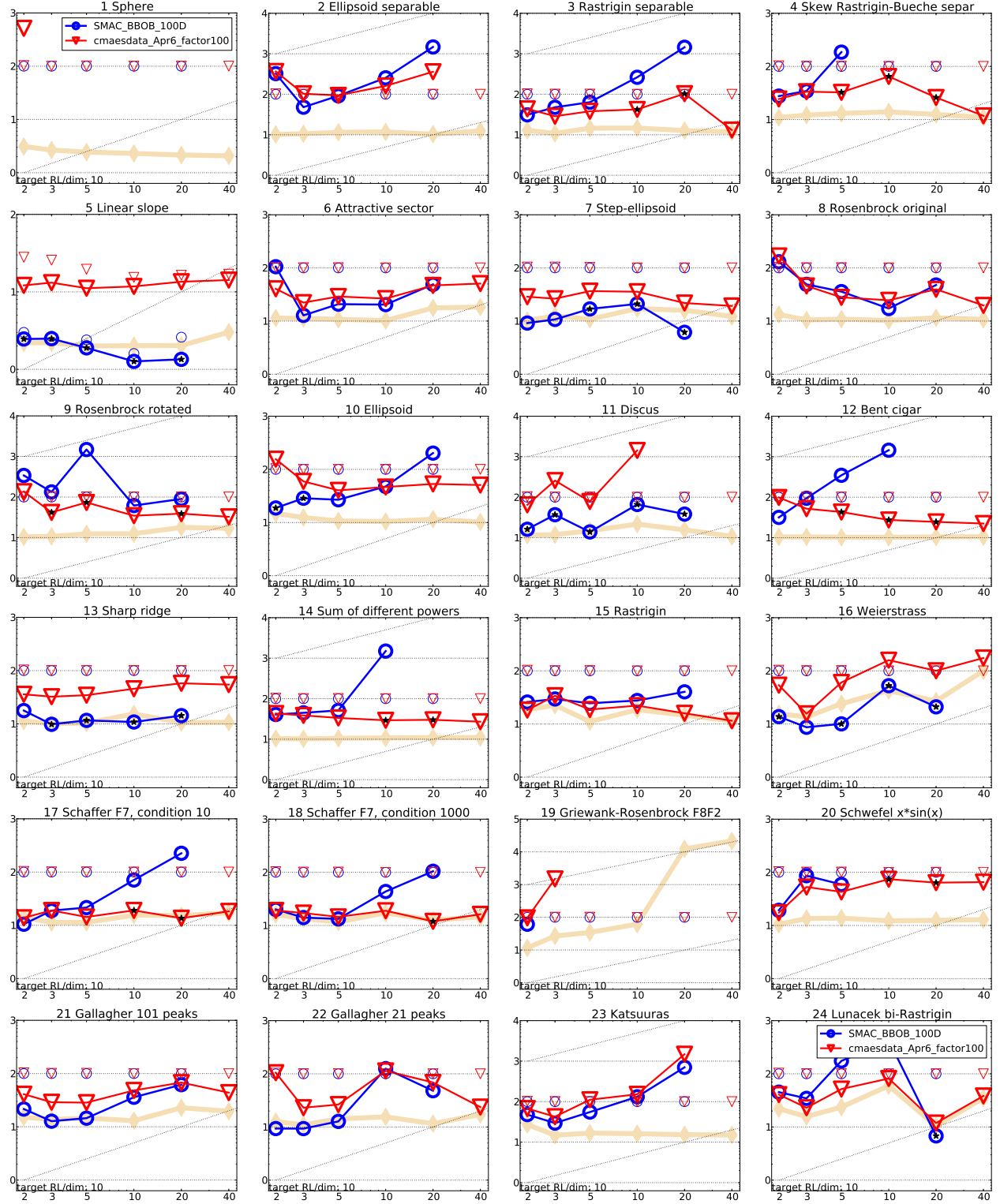


Figure 1: Expected running time (ERT in number of f -evaluations as \log_{10} value) divided by dimension versus dimension. The target function value is chosen such that the bestGECCO2009 artificial algorithm just failed to achieve an ERT of $10 \times \text{DIM}$. Different symbols correspond to different algorithms given in the legend of f_1 and f_{24} . Light symbols give the maximum number of function evaluations from the longest trial divided by dimension. Black stars indicate statistically better result compared to all other algorithms with $p < 0.01$ and Bonferroni correction number of dimensions (six). Legend: \circ :SMAC_{BB0B}, ∇ :CMAES.

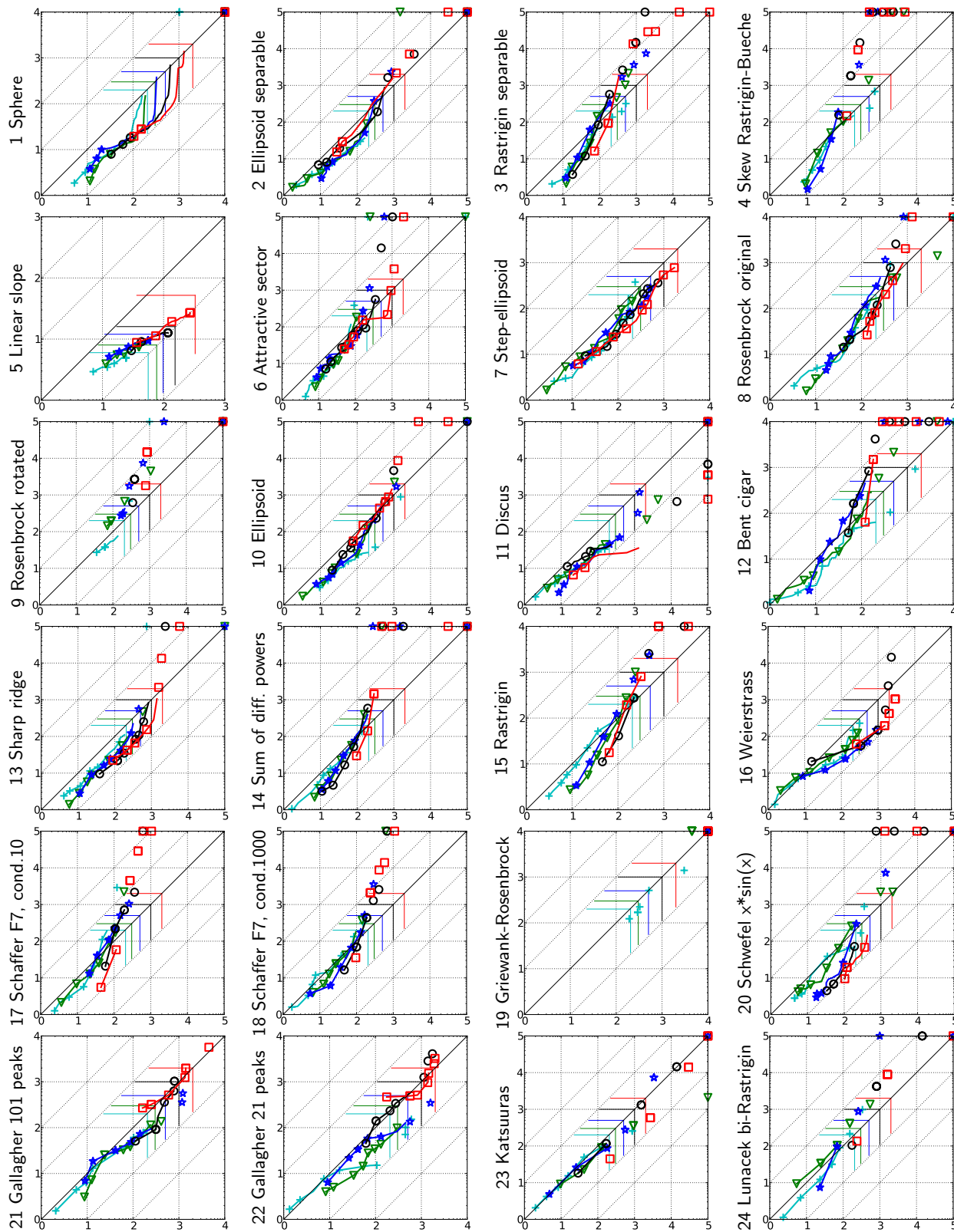


Figure 2: Expected running time (ERT in \log_{10} of number of function evaluations) of SMAC_{BBOB} (y -axis) versus CMAES (x -axis) for 8 runlength-based target function values for budgets between $0.5 \times \text{DIM}$ and $50 \times \text{DIM}$ evaluations. Each runlength-based target f -value is chosen such that the ERTs of the bestGECCO2009 artificial algorithm for the given and a slightly easier target bracket the reference budget. Markers on the upper or right edge indicate that the respective target value was never reached. Markers represent dimension: 2: +, 3: ∇, 5: *, 10: ○, 20: □, 40: ◇.

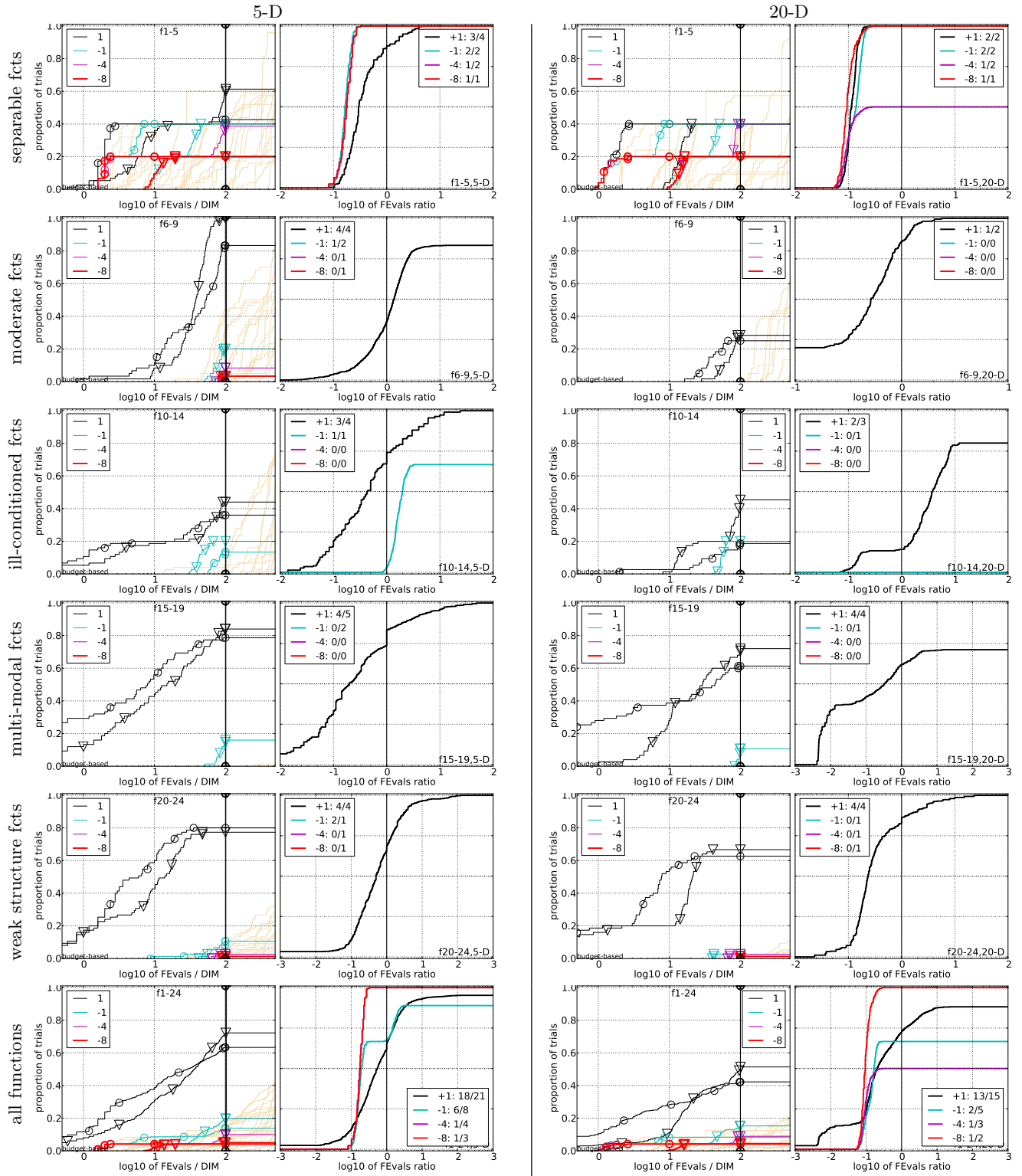


Figure 3: Empirical cumulative distributions (ECDF) of run lengths and speed-up ratios in 5-D (left) and 20-D (right). Left sub-columns: ECDF of the number of function evaluations divided by dimension D (FEvals/ D) to reach a target value $f_{\text{opt}} + \Delta f$ with $\Delta f = 10^k$, where $k \in \{1, -1, -4, -8\}$ is given by the first value in the legend, for SMACBBOB (\circ) and CMAES (∇). Light beige lines show the ECDF of FEvals for target value $\Delta f = 10^{-8}$ of all algorithms benchmarked during BBOB-2009. Right sub-columns: ECDF of FEval ratios of SMACBBOB divided by CMAES, all trial pairs for each function. Pairs where both trials failed are disregarded, pairs where one trial failed are visible in the limits being > 0 or < 1 . The legends indicate the number of functions that were solved in at least one trial (SMACBBOB first).

5-D

20-D

Δf	1e+1	1e-1	1e-3	1e-5	1e-7	#succ	Δf	1e+1	1e-1	1e-3	1e-5	1e-7	#succ
f_1	11	12	12	12	12	15/15	f_1	43	43	43	43	43	15/15
1: SMACBBOB	0.91(0.3)	2.3(0.4)*3	119(144)	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	0.97(0.1)*3	3.3(0.5)*3	112(124)	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.9(1)	15(3)	27(5)	65(44)*3	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	7.8(1)	20(2)	33(2)	48(1)*3	$\infty 2000$	0/15	
f_2	83	88	90	92	94	15/15	f_2	385	387	390	391	393	15/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_3	716	1637	1646	1650	1654	15/15	f_3	5066	7635	7643	7646	7651	15/15
1: SMACBBOB	5.1(6)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.2(1)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_4	809	1688	1817	1886	1903	15/15	f_4	4722	7666	7700	7758	1.4e5	9/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.1(0.9)*3	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_5	10	10	10	10	10	15/15	f_5	41	41	41	41	41	15/15
1: SMACBBOB	0.88(0.1)*3	0.95(0.1)*3	0.95(0.1)*3	0.95(0.1)*3	0.95(0.1)*3	15/15 1: SMACBBOB	0.60(0.1)*3\downarrow4	0.66(0.2)*3\downarrow2	0.66(0.2)*3\downarrow2	0.66(0.2)*3\downarrow2	0.66(0.2)*3\downarrow2	15/15	
2: CMAES	4.0(2)	5.6(1)	5.6(1)	5.6(1)	5.6(1)	15/15 2: CMAES	5.7(1)	6.7(1)	6.7(1)	6.7(1)	6.7(1)	15/15	
f_6	114	281	580	1038	1332	15/15	f_6	1296	3413	5220	6728	8409	15/15
1: SMACBBOB	5.2(6)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.9(0.5)	4.3(4)*3	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	4.4(4)*3	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_7	24	1171	1572	1572	1597	15/15	f_7	1351	9503	16524	16524	16969	15/15
1: SMACBBOB	2.4(2)	3.1(3)	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	0.57(0.3)*	∞^*2	∞^*2	∞^*2	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	4.2(3)	0.92(0.9)	0.92(1.0)	0.92(0.8)	1.5(2)	2/15 2: CMAES	1.3(0.9)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_8	73	336	391	410	422	15/15	f_8	2039	4040	4219	4371	4484	15/15
1: SMACBBOB	4.6(2)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	3.1(1)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_9	35	214	300	335	369	15/15	f_9	1716	3277	3455	3594	3727	15/15
1: SMACBBOB	12(8)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	6.1(3)*2	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{10}	349	574	626	829	880	15/15	f_{10}	7413	10735	14920	17073	17476	15/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{11}	143	763	1177	1467	1673	15/15	f_{11}	1002	6278	9762	12285	14831	15/15
1: SMACBBOB	15(17)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞^*3	∞^*3	∞^*3	∞^*3	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	24(28)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{12}	108	371	461	1303	1494	15/15	f_{12}	1042	2740	4140	12407	13827	15/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	17(16)*3	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	4.8(4)*3	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{13}	132	250	1310	1752	2255	15/15	f_{13}	652	2751	18749	24455	30201	15/15
1: SMACBBOB	4.2(4)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	21(25)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	3.4(2)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	2.9(2)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{14}	10	58	139	251	476	15/15	f_{14}	75	304	932	1648	15661	15/15
1: SMACBBOB	0.62(0.6)	11(6)	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	19(20)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.7(2)	3.9(1)*3	11(9)*3	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	3.8(1)*	3.6(0.5)*3	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{15}	511	19369	20073	20769	21359	14/15	f_{15}	30378	3.1e5	3.2e5	4.5e5	4.6e5	15/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.9(2)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{16}	120	2662	10449	11644	12095	15/15	f_{16}	1384	77015	1.9e5	2.0e5	2.2e5	15/15
1: SMACBBOB	0.42(0.3)*\downarrow	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	0.76(0.5)*2	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	2.5(3)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	2.1(2)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{17}	5.2	899	3669	6351	7934	15/15	f_{17}	63	4005	30677	56288	80472	15/15
1: SMACBBOB	2.5(4)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	0.92(1)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	4.1(6)	0.73(0.4)*3	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	1.8(1)	0.91(0.7)*3	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{18}	103	3968	9280	10905	12469	15/15	f_{18}	621	19561	67569	1.3e5	1.5e5	15/15
1: SMACBBOB	1.7(2)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	22(24)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.3(0.6)	0.94(1)*2	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	0.94(0.3)*2	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{19}	1	242	1.2e5	1.2e5	1.2e5	15/15	f_{19}	1	3.4e5	6.2e6	6.7e6	6.7e6	15/15
1: SMACBBOB	1*2	∞^*3	∞^*3	∞^*3	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	1*3	∞^*3	∞^*3	∞^*3	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	14(18)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	180(58)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{20}	16	38111	54470	54861	55313	14/15	f_{20}	82	3.1e6	5.5e6	5.6e6	5.6e6	14/15
1: SMACBBOB	0.77(0.3)*2	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	1.0(0.3)*3	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	4.2(3)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	4.7(2)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{21}	41	1674	1705	1729	1757	14/15	f_{21}	561	14103	14643	15567	17589	15/15
1: SMACBBOB	1.2(1)	0.65(0.6)	4.3(5)	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	3.5(5)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	2.2(2)	2.1(2)	2.1(2)	2.1(2)	4.3(4)	1/15 2: CMAES	2.5(4)	0.98(1)	0.97(1)	0.94(1)	0.85(0.9)	1/15	
f_{22}	71	938	1008	1040	1068	14/15	f_{22}	467	23491	24948	26847	1.3e5	12/15
1: SMACBBOB	0.90(0.8)	3.7(4)	7.4(8)	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	3.3(4)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.9(1)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	3.1(4)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{23}	3.0	14249	31654	33030	34256	15/15	f_{23}	3.2	67457	4.9e5	8.1e5	8.4e5	15/15
1: SMACBBOB	1.6(2)	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	1.7(2)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	1.6(1)	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	3.6(4)	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
f_{24}	1622	6.4e6	9.6e6	1.3e7	1.3e7	3/15	f_{24}	1.3e6	5.2e7	5.2e7	5.2e7	5.2e7	3/15
1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 500$	0/15 1: SMACBBOB	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	
2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 510$	0/15 2: CMAES	∞	∞	∞	∞	$\infty 2000$	0/15	

Table 1: ERT in number of function evaluations divided by the best ERT measured during BBOB-2009 given in the respective first row with the central 80% range divided by two in brackets for different Δf values. #succ is the number of trials that reached the final target $f_{\text{opt}} + 10^{-8}$. 1:SMACBBOB is SMACBBOB and 2:CMAES is CMAES. Bold entries are statistically significantly better compared to the other algorithm, with $p = 0.05$ or $p = 10^{-k}$ where $k \in \{2, 3, 4, \dots\}$ is the number following the \star symbol, with Bonferroni correction of 48. A \downarrow indicates the same tested against the best BBOB-2009.