

الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی طی دهه‌های اخیر به دلیل توانایی آن‌ها در حل مسائل پیچیده و غیرخطی، به یکی از روش‌های پرکاربرد در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی تبدیل شده‌اند. این الگوریتم‌ها با الهام از فرایندهای طبیعی، مانند تکامل زیستی و رفتار موجودات زنده، به دنبال یافتن بهترین راه‌حل‌ها برای مسائل بهینه‌سازی هستند. یکی از الگوریتم‌های نوین در این حوزه، **Lyrebird** **Optimization Algorithm (LOA)** است که با الهام از رفتار پرندگان لیربرد طراحی شده است.

پرندگان دم چتری که از پرندگان بومی استرالیا محسوب می‌شود، به دلیل توانایی منحصر به فرد خود در تقلید صداهای محیط، از جمله صداهای دیگر حیوانات و حتی ابزارهای انسانی، شناخته شده‌اند. این توانایی تقلید و سازگاری با محیط، ایده اصلی توسعه الگوریتم **LOA** بوده است. الگوریتم **LOA** از این ویژگی تقلید و سازگاری برای کاوش در فضای جستجو و یافتن راه‌حل‌های بهینه استفاده می‌کند.

شرح اولیه الگوریتم LOA

الگوریتم **LOA** مانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی با یک جمعیت اولیه شروع می‌شود. هر عضو از این جمعیت، که به عنوان یک "Lyrebird" در نظر گرفته می‌شود، نماینده یک راه‌حل ممکن در فضای جستجو است. در طول اجرای الگوریتم، این لیربردها با هم تعامل دارند و براساس میزان برازش (fitness) خود که توسط تابع هدف (Cost Function) ارزیابی می‌شود، به سمت بهینه‌سازی حرکت می‌کنند.

تولید جمعیت اولیه

فرایند تولید جمعیت اولیه در **LOA** به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. برای هر لیربرد، موقعیتی در فضای جستجو تعریف می‌شود که این موقعیت بین محدوده مشخصی از مقادیر (**LB**, **UB**) قرار دارد. این محدوده‌ها نشان‌دهنده حدود پایین و بالای هر بعد مسئله هستند. موقعیت اولیه هر لیربرد به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$lyrebird_i = rand(1, Dim) * (UB - LB) + LB$$

در این معادله، $rand(1, Dim)$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0, 1]$ است که برای هر بعد از مسئله تولید می‌شود.

ارزیابی برازش

پس از ایجاد جمعیت اولیه، برازش هر لیربرد با استفاده از تابع هدف مورد نظر ارزیابی می‌شود. برازش، معیاری برای سنجش کیفیت هر راه‌حل است. تابع هدف به عنوان ورودی، موقعیت لیربرد را دریافت کرده و مقدار برازش آن را محاسبه می‌کند. هدف الگوریتم **LOA** این است که در طی تکرارهای متوالی، برازش لیربردها را بهبود بخشد و به سمت بهینه سراسری حرکت کند.

بهبودهای پیشنهادی در LOA

الگوریتم **LOA** اولیه، علی‌رغم مزایای خود، ممکن است در برخی موارد به دلیل همگرایی زودرس و یا افتادن در بهینه‌های محلی با چالش‌هایی مواجه شود. برای غلبه بر این مشکلات، بهبودی در نسخه جدید الگوریتم **LOA** پیشنهاد شده است که شامل استفاده از جمعیت متقابل (**Opposition-Based Population**) و بهبود ضریب عملگرهای ترکیب (**Crossover**) و جهش (**Mutation**) است.

جمعیت متقابل

ایده جمعیت متقابل بر پایه اصل تقابل استوار است. بر اساس مفهوم تقابل، عدد متقابل x در یک بازه معینی مانند $[A, B]$ برابر است با:

$$\check{x} = A + B - x$$

در این رویکرد، برای هر موقعیت در جمعیت اصلی، یک موقعیت متقابل تولید می‌شود. اگر برازش موقعیت متقابل بهتر از موقعیت اصلی باشد، آن موقعیت جایگزین موقعیت اصلی می‌شود. فرایند تولید موقعیت متقابل به شکل زیر انجام می‌شود:

$$\widetilde{lyrebird}_i = LB + UB - lyrebird_i * rand(0, 1)$$

در این روش موقعیت هر لیبرد در یک عدد تصادفی ضرب می‌شود تا تنوع جمعیت افزایش یافته و احتمال افتادن در بهینه‌های محلی کاهش یابد.

عملگر ترکیب

ترکیب، یکی از مهمترین بخش‌های بهبود الگوریتم LOA است. در این مرحله، والدینی از میان لیبردهای موجود به صورت تصادفی انتخاب شده و فرزندان جدیدی با استفاده از ترکیب موقعیت‌های والدین تولید می‌شوند. این عملگر بر پایه روش ترکیب خطی انجام می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌گردد

○ فرمول الگوریتم اصلی

در این فرمول، α یک عدد تصادفی بین $[0, 1]$ است که به صورت یکنواخت توزیع شده و میزان مشارکت هر والد در ایجاد فرزندان را تعیین می‌کند. فرزندان تولیدشده به جمعیت اصلی اضافه می‌شوند و در مراحل بعدی مورد ارزیابی و انتخاب قرار می‌گیرند.

عملگر جهش

عملگر جهش با هدف افزایش تنوع در جمعیت و جلوگیری از همگرایی زودرس استفاده می‌شود. جهش با افزودن یک مقدار گاوسی به موقعیت لیبردها انجام می‌شود. این مقدار باعث تغییرات جزئی در موقعیت‌ها شده و شانس یافتن راه‌حل‌های بهتر را افزایش می‌دهد. فرمول جهش به صورت زیر تعریف می‌شود

○ فرمول الگوریتم اصلی

که در آن σ نمایانگر انحراف معیار مقدار گاوسی و $randn(1, Dim)$ یک بردار تصادفی با توزیع نرمال است. این عملگر تضمین می‌کند که موقعیت‌های جهش‌یافته در محدوده مشخص شده باقی بمانند و از حدود LB و UB خارج نشوند.

مراحل اجرای الگوریتم LOA بهبودیافته

فرایند اجرای الگوریتم LOA بهبودیافته در چندین مرحله به صورت زیر انجام می‌شود:

- مقداردهی اولیه: پارامترهای اصلی الگوریتم مانند تعداد لیبردها، تعداد تکرارها، نرخ ترکیب، نرخ جهش، و محدوده‌های جستجو مقداردهی می‌شوند.
- تولید جمعیت اولیه: جمعیت اولیه لیبردها به صورت تصادفی در محدوده‌های LB و UB تولید می‌شود.

- ارزیابی برازش: برازش هر لیربرد براساس تابع هدف محاسبه می‌شود.
- تولید جمعیت متقابل: برای هر لیربرد، یک موقعیت متقابل تولید شده و با موقعیت اصلی مقایسه می‌شود. در صورت بهتر بودن برازش، موقعیت متقابل جایگزین موقعیت اصلی می‌شود.
- ترکیب و جهش: والدین انتخاب‌شده با استفاده از عملگر ترکیب، فرزندان جدیدی تولید می‌کنند. سپس با اعمال عملگر جهش، موقعیت‌های جدیدی ایجاد می‌شوند.
- به‌روزرسانی و انتخاب: براساس برازش جدید، موقعیت‌ها مرتب شده و بهترین موقعیت به عنوان راه‌حل بهینه کنونی انتخاب می‌شود.
- تکرار: این فرایند تا رسیدن به تعداد تکرارهای حداکثری یا دستیابی به بهینه مطلوب ادامه می‌یابد.

نتیجه‌گیری

الگوریتم LOA بهبودیافته با ترکیب مکانیزم‌های جمعیت متقابل، بهبود ترکیب و جهش توانسته است توانایی خود را در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی بهبود بخشد. استفاده از این مکانیزم‌ها به LOA اجازه می‌دهد تا از افتادن در بهینه‌های محلی جلوگیری کرده و به نتایج دقیق‌تر و سریع‌تری دست یابد. این الگوریتم می‌تواند در زمینه‌های مختلفی مانند مهندسی، اقتصاد و علوم کامپیوتر به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهینه‌سازی استفاده شود.

CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz

RAM: 16GB DDR4

Matlab Version: R2024a

Parallel Workers Number: 10

Population Number: 30

Running Algorithm: 30

Maximum Iteration: 500

Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2005 (Fix Dim)

Function		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
s								
F1	Mean	<u>0.00E+00</u>	9.23E+03	5.84E+04	6.58E+04	3.36E-04	1.20E-69	1.04E+03
	Std	0.00E+00	3.15E+03	9.63E+03	6.77E+03	1.47E-03	6.56E-69	4.79E+02
	CPU	0.387	0.155	0.171	0.382	1.464	0.370	0.056
F2	Mean	<u>2.32E-182</u>	1.70E+01	4.30E+10	2.74E+12	1.07E-01	1.22E-47	1.61E+01
	Std	0.00E+00	1.32E+01	1.59E+11	8.32E+12	4.08E-01	3.44E-47	2.72E+00
	CPU	0.519	0.221	0.200	0.589	1.586	0.339	0.084
F3	Mean	<u>0.00E+00</u>	1.79E+04	7.84E+04	1.39E+05	9.71E+02	3.80E+04	3.86E+03
	Std	0.00E+00	8.99E+03	1.20E+04	4.27E+04	3.39E+02	1.41E+04	1.90E+03
	CPU	2.286	0.796	0.774	0.636	1.570	0.847	0.494
F4	Mean	<u>1.36E-201</u>	3.56E+01	8.74E+01	7.95E+01	7.01E+00	4.57E+01	1.66E+01
	Std	0.00E+00	6.50E+00	4.39E+00	4.82E+00	1.56E+00	3.15E+01	2.72E+00
	CPU	0.412	0.207	0.194	0.497	1.344	0.309	0.058
F5	Mean	2.90E+01	9.50E+05	1.97E+08	2.29E+08	7.96E+01	<u>2.80E+01</u>	1.07E+05
	Std	1.84E-02	8.55E+05	6.02E+07	3.29E+07	7.60E+01	3.59E-01	6.24E+04
	CPU	0.829	0.313	0.307	0.549	1.319	0.414	0.181
F6	Mean	5.48E+00	8.27E+03	6.11E+04	6.41E+04	<u>3.87E-03</u>	3.82E-01	1.06E+03
	Std	3.63E-01	2.26E+03	7.91E+03	9.10E+03	2.11E-02	2.45E-01	5.83E+02
	CPU	0.443	0.232	0.198	0.473	1.613	0.311	0.071
F7	Mean	3.69E-02	1.31E-01	9.45E+01	1.20E+02	8.36E-02	<u>3.39E-03</u>	3.60E-01
	Std	3.39E-02	5.06E-02	2.30E+01	2.29E+01	3.47E-02	3.54E-03	2.17E-01
	CPU	1.331	0.396	0.506	0.513	1.341	0.546	0.277
F8	Mean	-	-	-	-	-	<u>1.10E+04</u>	-
	Std	6.63E+03	2.92E+03	6.04E+03	5.22E+03	2.53E+03	1.75E+03	5.75E+03
	CPU	8.59E+02	4.56E+02	5.78E+02	2.97E+03	4.04E+02	0.406	8.60E+02
F9	Mean	<u>0.00E+00</u>	8.39E+01	4.10E+02	4.25E+02	2.84E+01	<u>0.00E+00</u>	9.41E+01
	Std	0.00E+00	1.99E+01	2.14E+01	2.67E+01	9.97E+00	0.00E+00	2.30E+01
	CPU	0.557	0.280	0.292	0.584	1.501	0.329	0.145
F10	Mean	<u>4.44E-16</u>	1.48E+01	2.00E+01	2.02E+01	1.21E-08	4.12E-15	9.15E+00
	Std	0.00E+00	8.52E-01	1.17E-01	3.05E-01	3.55E-09	1.98E-15	1.22E+00
	CPU	0.626	0.255	0.284	0.533	1.379	0.340	0.152
F11	Mean	<u>0.00E+00</u>	1.07E+02	5.56E+02	6.00E+02	2.73E+01	<u>0.00E+00</u>	8.92E+00
	Std	0.00E+00	3.87E+01	6.29E+01	4.70E+01	6.13E+00	0.00E+00	4.33E+00
	CPU	0.848	0.370	0.424	0.553	1.321	0.431	0.214
F12	Mean	3.06E-01	2.66E+05	5.43E+08	5.39E+08	1.97E+00	<u>1.65E-02</u>	3.97E+01
	Std							
	CPU							

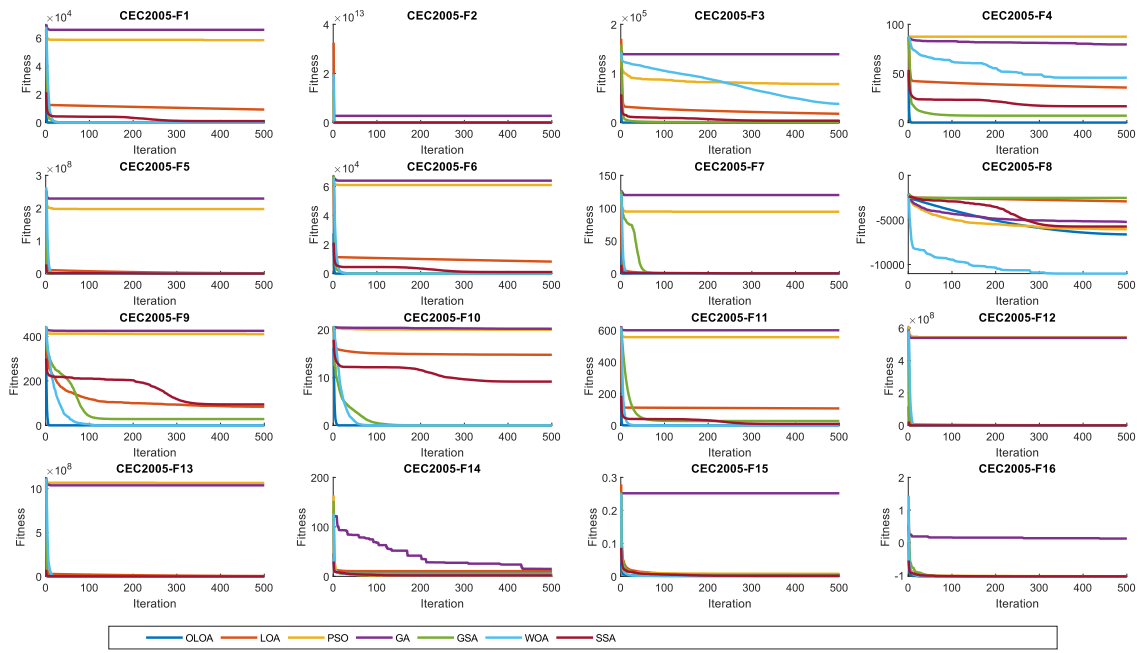
Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2005 (Fix Dim)

Function		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
s								
F13	Std	9.89E-02	6.96E+05	1.23E+08	1.28E+08	9.47E-01	7.86E-03	1.16E+02
	CPU	2.349	0.886	0.835	0.725	1.638	0.908	0.551
	Mea	2.56E+00	3.72E+06	1.07E+09	1.04E+09	8.92E+00	<u>5.49E-01</u>	8.01E+03
	n							
	Std	6.17E-01	4.99E+06	1.93E+08	1.90E+08	7.32E+00	2.11E-01	2.00E+04
	CPU	2.233	0.828	0.824	0.671	1.618	0.901	0.528
F14	Mea	9.88E+00	1.05E+01	<u>1.10E+00</u>	1.51E+01	5.13E+00	2.18E+00	1.96E+00
	n							
	Std	3.45E+00	5.45E+00	1.92E-01	1.31E+01	3.12E+00	2.47E+00	1.23E+00
	CPU	4.479	1.608	1.508	1.207	1.397	1.520	1.207
	Mea	8.32E-04	2.64E-03	7.86E-03	2.52E-01	4.48E-03	<u>8.16E-04</u>	1.87E-03
	n							
F15	Std	3.53E-04	5.36E-03	8.32E-03	2.39E-01	3.55E-03	7.49E-04	4.21E-03
	CPU	0.398	0.176	0.148	0.340	0.613	0.215	0.068
F16	Mea	-	-	-	1.26E-01	-	-	-
	n							
	Std	1.03E+00	1.03E+00	1.03E+00		<u>1.03E+00</u>	1.03E+00	1.03E+00
	CPU	1.17E-03	5.52E-05	4.76E-03	7.36E-01	4.61E-16	2.67E-09	2.57E-14
	Mea	0.503	0.197	0.156	0.405	0.770	0.180	0.047
	CPU							
F17	Std	3.98E-01	3.98E-01	4.00E-01	2.28E+00	<u>3.98E-01</u>	3.98E-01	3.98E-01
	CPU							
	Std	4.96E-04	3.03E-05	1.99E-03	1.60E+00	0.00E+00	2.61E-05	1.74E-14
	CPU	0.366	0.154	0.115	0.341	0.738	0.152	0.029
F18	Mea	3.06E+00	4.80E+00	3.07E+00	7.09E+01	<u>3.00E+00</u>	3.00E+00	3.00E+00
	n							
	Std	7.50E-02	6.85E+00	4.65E-02	5.73E+01	3.13E-15	3.73E-04	5.55E-13
	CPU	0.332	0.145	0.115	0.357	0.667	0.140	0.019
F19	Mea	-	-	-	-	-	-	-
	n							
	Std	3.83E+00	3.86E+00	3.86E+00	3.82E+00	<u>3.86E+00</u>	3.85E+00	3.86E+00
	CPU	3.03E-02	2.48E-03	3.48E-03	1.41E-01	2.27E-15	2.20E-02	2.63E-02
	Mea	0.636	0.207	0.183	0.420	0.783	0.217	0.098
	CPU							
F20	Std	-	-	-	-	-	-	-
	CPU							
	Mea	2.84E+00	3.24E+00	3.02E+00	3.19E+00	<u>3.32E+00</u>	3.23E+00	3.29E+00
	n							
	Std	2.20E-01	7.57E-02	1.51E-01	6.07E-02	1.61E-15	9.65E-02	6.75E-02
	CPU	0.651	0.244	0.220	0.446	0.793	0.247	0.110
F21	Mea	-	-	-	-	-	-	-
	n							
	Std	<u>8.96E+00</u>	4.97E+00	3.16E+00	4.01E+00	6.23E+00	8.44E+00	6.17E+00
	CPU	9.21E-01	3.44E+00	1.05E+00	2.37E+00	3.74E+00	2.43E+00	3.79E+00
	Mea	0.825	0.279	0.241	0.477	0.719	0.260	0.147
	CPU							
F22	Std	-	-	-	-	-	-	-
	CPU							
	Mea	8.98E+00	6.02E+00	3.34E+00	4.10E+00	<u>9.81E+00</u>	7.94E+00	9.27E+00
	n							
	Std	1.58E+00	3.62E+00	1.39E+00	2.44E+00	1.87E+00	3.05E+00	2.60E+00
	CPU	0.860	0.310	0.321	0.430	0.571	0.281	0.191
F23	Mea	-	-	-	-	-	-	-
	n							
	Std	8.88E+00	6.24E+00	3.11E+00	4.64E+00	<u>1.01E+01</u>	7.24E+00	8.30E+00
	CPU	9.09E-01	3.81E+00	1.20E+00	2.98E+00	1.50E+00	3.36E+00	3.49E+00
	Mea	0.988	0.378	0.381	0.520	0.531	0.327	0.253
	CPU							
Total Best Result		8\23	0\23	1\23	0\23	8\23	8\23	0\23
Rank		1	5	4	5	1	1	5

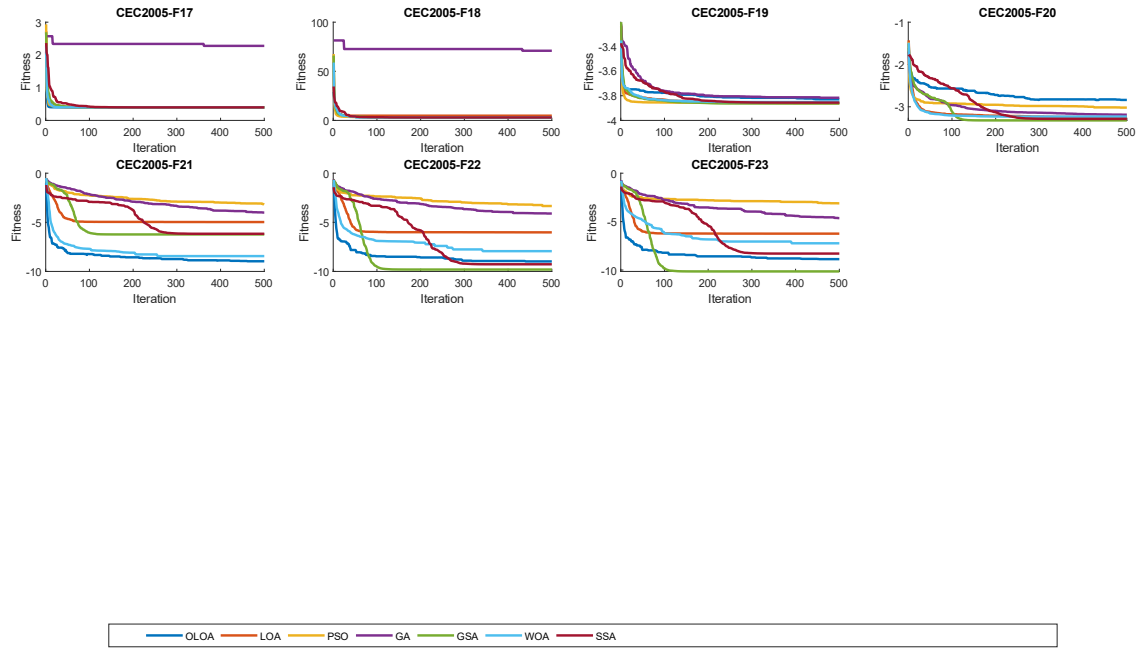
P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2005 (Fix Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F1	5.45E-23	1.82E-39	6.15E-51	2.16E-01	3.21E-01	3.44E-17
F2	2.33E-09	1.44E-01	7.63E-02	1.55E-01	5.73E-02	6.49E-39
F3	1.13E-15	3.52E-41	3.12E-25	1.50E-22	2.65E-21	5.19E-16
F4	4.92E-37	7.85E-69	4.26E-64	2.31E-32	7.68E-11	1.44E-39
F5	9.90E-08	2.44E-25	8.35E-43	5.70E-04	1.24E-20	3.34E-13
F6	1.04E-27	2.68E-45	4.71E-43	8.47E-62	2.21E-55	3.72E-14
F7	8.73E-12	2.70E-30	5.72E-36	2.07E-06	1.42E-06	4.75E-11
F8	1.17E-28	2.93E-03	1.58E-02	1.89E-31	6.96E-18	2.01E-04
F9	5.78E-31	7.88E-68	2.89E-63	2.17E-22	NaN	2.89E-30
F10	2.53E-65	6.97E-123	4.58E-99	3.88E-26	1.60E-14	1.33E-44
F11	9.15E-22	1.29E-48	1.08E-57	3.18E-32	NaN	2.91E-16
F12	4.10E-02	6.16E-32	6.81E-31	1.63E-13	6.95E-23	6.73E-02
F13	1.38E-04	3.00E-37	6.44E-37	1.40E-05	5.08E-24	3.19E-02
F14	5.73E-01	3.74E-20	3.97E-02	6.22E-07	3.74E-14	3.89E-17
F15	7.09E-02	2.14E-05	3.31E-07	6.12E-07	9.16E-01	1.83E-01
F16	5.92E-03	5.50E-06	5.75E-12	3.29E-03	3.29E-03	3.29E-03
F17	2.49E-03	4.96E-05	2.59E-08	1.27E-03	1.91E-03	1.27E-03
F18	1.70E-01	7.41E-01	2.11E-08	2.78E-05	2.85E-05	2.78E-05
F19	6.45E-07	3.61E-06	6.27E-01	1.00E-07	2.47E-03	6.53E-04
F20	1.86E-13	4.34E-04	1.33E-11	1.81E-17	1.33E-12	2.52E-15
F21	8.15E-08	1.51E-30	2.50E-15	2.64E-04	2.73E-01	2.31E-04
F22	1.30E-04	3.57E-21	6.89E-13	6.93E-02	1.01E-01	6.01E-01
F23	5.17E-04	9.46E-29	5.12E-10	2.03E-04	1.25E-02	3.85E-01

CEC Benchmark Functions2005



CEC Benchmark Functions2005



Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2017 (30 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
F1	Mean	<u>6.78E+07</u>	4.54E+10	6.71E+10	1.22E+11	1.36E+10	4.91E+09	9.66E+09
	Std	4.19E+07	9.50E+09	1.03E+10	1.54E+10	3.50E+09	2.02E+09	5.20E+09
	CPU	0.299	0.287	0.521	0.512	1.380	0.355	0.351
F2	Mean	<u>6.06E+04</u>	1.23E+05	2.93E+05	1.03E+09	9.73E+04	2.55E+05	7.72E+04
	Std	1.40E+04	3.58E+04	6.36E+04	3.21E+09	1.09E+04	6.71E+04	1.38E+04
	CPU	0.262	0.159	0.203	0.294	1.250	0.214	0.146
F3	Mean	<u>5.73E+02</u>	1.24E+04	9.30E+03	5.18E+04	3.62E+03	1.30E+03	1.85E+03
	Std	3.96E+01	3.83E+03	4.09E+03	9.63E+03	9.53E+02	3.55E+02	8.59E+02
	CPU	0.271	0.132	0.192	0.289	1.238	0.198	0.140
F4	Mean	7.68E+02	7.47E+02	9.71E+02	1.13E+03	<u>7.46E+02</u>	8.73E+02	7.97E+02
	Std	3.35E+01	4.06E+01	3.92E+01	4.09E+01	2.94E+01	6.41E+01	4.44E+01
	CPU	0.398	0.173	0.213	0.353	1.408	0.247	0.177
F5	Mean	6.68E+02	6.63E+02	6.96E+02	7.13E+02	<u>6.63E+02</u>	6.82E+02	6.71E+02
	Std	8.19E+00	6.00E+00	1.20E+01	8.21E+00	4.94E+00	1.27E+01	1.01E+01
	CPU	0.897	0.311	0.325	0.460	1.417	0.360	0.298
F6	Mean	1.38E+03	1.37E+03	3.09E+03	3.23E+03	<u>1.10E+03</u>	1.33E+03	1.25E+03
	Std	6.03E+01	1.41E+02	2.41E+02	2.15E+02	7.79E+01	7.57E+01	8.41E+01
	CPU	0.445	0.181	0.220	0.345	1.301	0.236	0.193
F7	Mean	9.79E+02	9.84E+02	1.26E+03	1.31E+03	<u>9.62E+02</u>	1.10E+03	1.04E+03
	Std	3.23E+01	3.12E+01	3.05E+01	3.07E+01	2.26E+01	6.64E+01	4.27E+01
	CPU	0.418	0.172	0.224	0.340	1.308	0.235	0.182
F8	Mean	9.40E+03	5.91E+03	2.41E+04	3.42E+04	<u>4.72E+03</u>	1.22E+04	7.14E+03
	Std	1.73E+03	9.74E+02	3.85E+03	3.68E+03	4.66E+02	4.91E+03	1.72E+03
	CPU	0.399	0.175	0.216	0.353	1.356	0.254	0.194
F9	Mean	5.79E+03	6.32E+03	8.50E+03	9.10E+03	<u>5.72E+03</u>	7.48E+03	6.74E+03
	Std	5.28E+02	8.02E+02	5.92E+02	3.22E+02	5.02E+02	8.35E+02	7.78E+02
	CPU	0.571	0.254	0.279	0.440	1.610	0.299	0.249
F10	Mean	<u>1.45E+03</u>	1.10E+04	1.60E+04	8.02E+04	7.83E+03	8.95E+03	3.09E+03
	Std	1.61E+02	3.77E+03	8.01E+03	8.52E+04	1.91E+03	3.50E+03	9.28E+02
	CPU	0.369	0.160	0.209	0.345	1.296	0.219	0.166
F11	Mean	<u>3.24E+07</u>	1.23E+10	7.00E+09	2.67E+10	2.27E+09	5.78E+08	4.21E+08
	Std	1.87E+07	3.19E+09	2.34E+09	6.16E+09	9.20E+08	3.50E+08	3.48E+08
	CPU	0.431	0.194	0.230	0.359	1.332	0.242	0.195
F12	Mean	<u>8.70E+05</u>	8.79E+09	3.04E+09	2.64E+10	2.08E+08	1.63E+07	4.29E+06
	Std	3.69E+05	4.43E+09	1.64E+09	9.47E+09	3.12E+08	1.40E+07	8.58E+06
	CPU	0.370	0.164	0.246	0.356	1.340	0.281	0.203
F13	Mean	<u>4.63E+05</u>	4.34E+06	2.65E+06	5.25E+07	1.30E+06	2.78E+06	1.07E+06
	Std	4.64E+05	6.16E+06	3.31E+06	4.36E+07	5.58E+05	3.01E+06	1.18E+06
	CPU	0.528	0.226	0.251	0.386	1.327	0.268	0.216
F14	Mean	1.49E+05	4.30E+08	5.88E+08	6.40E+09	<u>1.66E+04</u>	1.11E+07	3.68E+04
	Std	6.94E+04	4.91E+08	3.62E+08	2.61E+09	4.54E+03	1.95E+07	2.67E+04
	CPU	0.319	0.154	0.208	0.317	1.318	0.227	0.163
F15	Mean	3.97E+03	5.39E+03	4.40E+03	9.39E+03	4.17E+03	4.23E+03	<u>3.75E+03</u>
	Std	5.13E+02	1.25E+03	4.43E+02	1.78E+03	4.47E+02	5.97E+02	4.47E+02
	CPU	0.432	0.168	0.219	0.347	1.321	0.239	0.180
F16	Mean	2.70E+03	3.76E+03	3.32E+03	4.47E+04	2.88E+03	2.74E+03	<u>2.51E+03</u>
	Std	3.50E+02	1.55E+03	2.10E+02	5.06E+04	3.03E+02	3.08E+02	2.58E+02

Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2017 (30 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
	CPU	1.034	0.397	0.383	0.538	1.520	0.410	0.365
F17	Mean	<u>1.17E+06</u>	3.88E+07	2.11E+07	9.23E+08	4.38E+06	1.45E+07	7.88E+06
	Std	1.63E+06	3.48E+07	1.73E+07	5.69E+08	4.50E+06	1.60E+07	8.29E+06
	CPU	0.393	0.172	0.222	0.341	1.330	0.234	0.178
F18	Mean	3.59E+06	2.94E+08	6.09E+08	7.23E+09	<u>1.13E+06</u>	2.86E+07	1.90E+07
	Std	3.02E+06	4.61E+08	3.12E+08	2.71E+09	8.31E+05	2.25E+07	1.42E+07
	CPU	3.481	1.170	1.031	1.133	2.170	1.051	0.993
F19	Mean	2.84E+03	2.83E+03	3.04E+03	3.18E+03	3.10E+03	2.93E+03	<u>2.80E+03</u>
	Std	2.06E+02	2.68E+02	1.66E+02	1.21E+02	2.21E+02	2.49E+02	2.10E+02
	CPU	1.137	0.399	0.413	0.532	1.563	0.415	0.348
F20	Mean	2.57E+03	2.60E+03	2.73E+03	2.92E+03	2.65E+03	2.65E+03	<u>2.54E+03</u>
	Std	5.23E+01	6.12E+01	3.69E+01	6.75E+01	4.43E+01	6.70E+01	7.42E+01
	CPU	1.068	0.398	0.370	0.527	1.482	0.441	0.401
F21	Mean	7.37E+03	8.24E+03	9.55E+03	9.72E+03	7.58E+03	8.30E+03	<u>4.57E+03</u>
	Std	7.03E+02	8.09E+02	6.20E+02	9.44E+02	5.04E+02	1.70E+03	1.69E+03
	CPU	1.365	0.497	0.480	0.654	1.609	0.478	0.411
F22	Mean	3.57E+03	3.60E+03	3.18E+03	3.97E+03	4.04E+03	3.15E+03	<u>2.99E+03</u>
	Std	1.56E+02	1.91E+02	9.22E+01	2.69E+02	2.06E+02	1.08E+02	7.20E+01
	CPU	1.478	0.528	0.520	0.611	1.616	0.505	0.481
F23	Mean	3.62E+03	4.16E+03	3.30E+03	4.23E+03	3.93E+03	3.28E+03	<u>3.16E+03</u>
	Std	1.27E+02	2.63E+02	7.29E+01	2.25E+02	1.71E+02	9.37E+01	8.83E+01
	CPU	1.613	0.569	0.569	0.680	1.691	0.563	0.496
F24	Mean	<u>2.98E+03</u>	5.57E+03	1.02E+04	1.91E+04	3.27E+03	3.23E+03	3.41E+03
	Std	2.17E+01	1.09E+03	1.59E+03	4.40E+03	1.18E+02	9.99E+01	2.16E+02
	CPU	1.401	0.508	0.482	0.614	1.608	0.508	0.464
F25	Mean	8.75E+03	1.07E+04	9.18E+03	1.63E+04	8.81E+03	8.93E+03	<u>7.40E+03</u>
	Std	1.25E+03	1.36E+03	8.60E+02	2.17E+03	6.42E+02	7.62E+02	1.34E+03
	CPU	1.836	0.614	0.603	0.739	1.736	0.626	0.551
F26	Mean	4.34E+03	4.81E+03	<u>3.45E+03</u>	5.38E+03	5.32E+03	3.47E+03	3.51E+03
	Std	4.09E+02	4.67E+02	9.31E+01	4.60E+02	4.13E+02	1.31E+02	1.02E+02
	CPU	2.060	0.715	0.671	0.821	1.964	0.706	0.658
F27	Mean	<u>3.37E+03</u>	7.27E+03	6.78E+03	1.30E+04	4.50E+03	3.90E+03	4.04E+03
	Std	3.64E+01	8.94E+02	8.46E+02	2.10E+03	3.18E+02	2.38E+02	2.76E+02
	CPU	1.819	0.617	0.661	0.772	1.773	0.623	0.549
F28	Mean	5.45E+03	6.95E+03	5.36E+03	7.79E+04	6.47E+03	5.43E+03	<u>4.81E+03</u>
	Std	5.16E+02	2.00E+03	3.94E+02	1.74E+05	4.53E+02	6.64E+02	4.43E+02
	CPU	1.593	0.574	0.551	0.675	1.668	0.586	0.502
F29	Mean	<u>1.02E+07</u>	1.12E+09	2.86E+08	4.27E+09	1.51E+07	7.61E+07	3.69E+07
	Std	4.43E+06	7.82E+08	1.23E+08	1.83E+09	1.01E+07	5.35E+07	2.97E+07
	CPU	4.123	1.389	1.167	1.265	2.269	1.206	1.130
Total Best Result		11\29	0\29	1\29	0\29	8\29	0\29	9\29
Rank		1	5	4	5	3	5	2

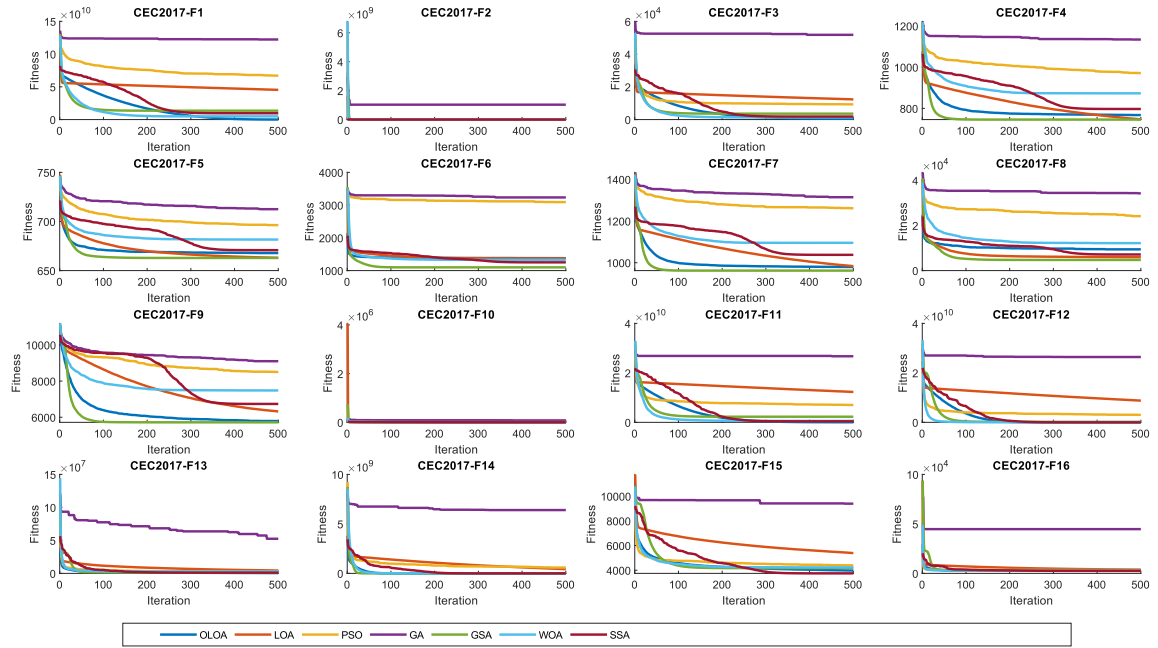
P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2017 (30 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F1	8.91E-34	3.03E-41	6.15E-46	6.77E-29	4.95E-19	2.19E-14

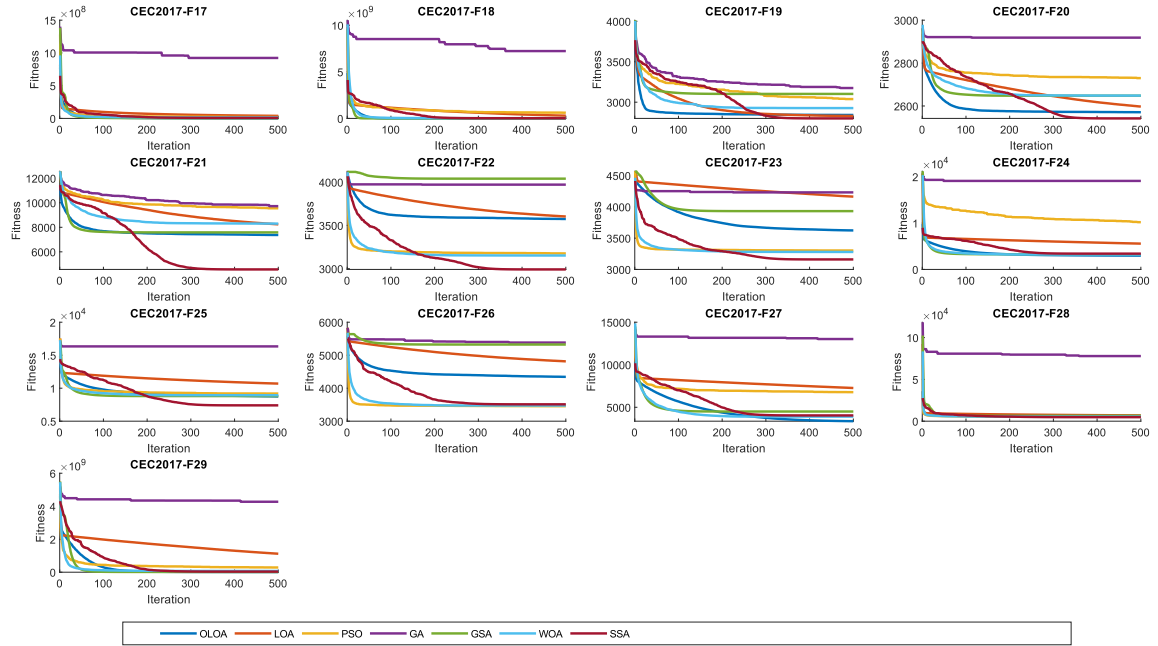
P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2017 (30 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F2	1.62E-12	3.43E-27	8.41E-02	2.53E-16	2.82E-22	2.31E-05
F3	5.44E-24	7.33E-17	2.59E-36	8.61E-25	5.73E-16	3.69E-11
F4	3.29E-02	1.92E-29	1.18E-42	9.19E-03	6.60E-11	5.26E-03
F5	1.09E-02	2.52E-15	6.96E-29	5.75E-03	5.99E-06	2.19E-01
F6	7.97E-01	1.69E-42	4.49E-47	2.47E-22	7.13E-03	8.50E-09
F7	6.10E-01	1.58E-40	1.31E-44	1.97E-02	5.85E-12	1.55E-07
F8	1.08E-13	1.11E-26	1.41E-39	9.30E-21	5.25E-03	3.86E-06
F9	3.57E-03	2.70E-26	1.77E-36	5.87E-01	3.18E-13	8.56E-07
F10	5.11E-20	3.73E-14	4.47E-06	1.03E-25	6.15E-17	1.45E-13
F11	7.31E-29	2.29E-23	1.53E-31	2.59E-19	7.74E-12	9.16E-08
F12	1.34E-15	1.88E-14	5.61E-22	5.85E-04	1.23E-07	3.31E-02
F13	1.10E-03	6.99E-04	1.81E-08	3.60E-08	1.06E-04	1.12E-02
F14	1.19E-05	1.97E-12	1.81E-19	5.77E-15	3.28E-03	2.02E-11
F15	3.20E-07	1.11E-03	5.31E-23	1.15E-01	7.84E-02	7.46E-02
F16	5.33E-04	1.43E-11	2.83E-05	3.28E-02	5.90E-01	2.31E-02
F17	1.94E-07	4.45E-08	2.15E-12	5.23E-04	2.93E-05	5.57E-05
F18	1.04E-03	3.19E-15	4.29E-21	6.67E-05	1.19E-07	2.79E-07
F19	8.35E-01	1.43E-04	2.43E-10	1.56E-05	1.55E-01	4.32E-01
F20	7.86E-02	1.05E-19	3.88E-30	7.73E-08	5.71E-06	8.67E-02
F21	4.28E-05	2.04E-18	1.01E-15	1.87E-01	7.63E-03	1.21E-11
F22	5.18E-01	2.37E-17	3.03E-09	4.89E-14	1.42E-17	4.58E-26
F23	1.97E-14	2.52E-17	1.13E-18	7.84E-11	3.05E-17	1.91E-23
F24	7.19E-19	1.45E-32	8.70E-28	3.74E-19	5.38E-19	1.90E-15
F25	2.99E-07	1.19E-01	9.70E-24	8.11E-01	4.90E-01	1.65E-04
F26	1.11E-04	8.85E-17	5.29E-13	5.68E-13	5.96E-16	1.55E-15
F27	1.05E-31	6.57E-30	7.12E-33	4.19E-27	9.24E-18	2.79E-19
F28	1.95E-04	4.72E-01	2.62E-02	3.11E-11	9.10E-01	3.13E-06
F29	1.46E-10	1.01E-17	1.73E-18	1.77E-02	8.46E-09	8.58E-06

CEC Benchmark Functions2017



CEC Benchmark Functions2017



Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2017 (100 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
F1	Mean	5.07E+10	2.78E+11	5.71E+11	5.84E+11	2.11E+11	1.07E+11	1.73E+11
	Std	4.43E+09	2.82E+10	6.09E+10	2.84E+10	8.96E+09	1.02E+10	2.01E+10
	CPU	2.480	0.933	0.807	1.019	4.021	0.868	0.734
F2	Mean	4.07E+05	4.99E+05	1.41E+06	2.64E+11	3.72E+05	9.76E+05	3.84E+05
	Std	9.77E+04	1.12E+05	2.49E+05	7.00E+11	2.07E+04	1.82E+05	4.23E+04
	CPU	2.475	1.078	0.794	1.005	3.933	0.826	0.724
F3	Mean	8.21E+03	1.02E+05	1.81E+05	2.92E+05	7.16E+04	2.14E+04	4.32E+04
	Std	1.44E+03	1.86E+04	4.89E+04	4.13E+04	8.42E+03	3.24E+03	6.28E+03
	CPU	2.585	0.937	0.834	1.053	4.146	0.895	0.780
F4	Mean	1.58E+03	1.82E+03	2.88E+03	2.94E+03	1.56E+03	1.99E+03	1.92E+03
	Std	5.16E+01	9.34E+01	1.58E+02	6.93E+01	6.93E+01	1.31E+02	1.20E+02
	CPU	3.102	1.047	0.941	1.205	4.342	0.980	0.844

Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2017 (100 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
F5	Mean	6.91E+02	6.81E+02	7.57E+02	7.45E+02	<u>6.73E+02</u>	7.12E+02	6.97E+02
	Std	4.14E+00	5.43E+00	8.27E+00	5.78E+00	3.99E+00	1.05E+01	6.49E+00
	CPU	4.403	1.557	1.367	1.599	4.594	1.385	1.275
F6	Mean	3.85E+03	4.44E+03	1.34E+04	1.26E+04	<u>3.36E+03</u>	3.85E+03	4.10E+03
	Std	1.12E+02	4.35E+02	5.44E+02	4.69E+02	1.64E+02	1.39E+02	2.45E+02
	CPU	2.961	1.087	0.936	1.158	4.194	1.004	0.867
F7	Mean	2.06E+03	2.24E+03	3.25E+03	3.36E+03	<u>2.02E+03</u>	2.43E+03	2.35E+03
	Std	7.94E+01	8.82E+01	1.36E+02	8.73E+01	1.03E+02	8.74E+01	8.30E+01
	CPU	2.925	1.064	0.928	1.139	4.235	0.976	0.892
F8	Mean	7.75E+04	4.10E+04	2.11E+05	2.05E+05	<u>3.08E+04</u>	8.28E+04	6.46E+04
	Std	6.41E+03	5.71E+03	1.64E+04	1.21E+04	2.86E+03	1.74E+04	6.04E+03
	CPU	2.895	1.038	0.941	1.134	4.245	1.006	0.866
F9	Mean	2.16E+04	2.54E+04	3.31E+04	3.33E+04	<u>2.13E+04</u>	2.95E+04	2.77E+04
	Std	1.33E+03	1.07E+03	8.81E+02	5.18E+02	1.45E+03	1.38E+03	1.34E+03
	CPU	3.450	1.212	1.028	1.261	4.419	1.081	0.950
F10	Mean	<u>1.30E+05</u>	2.56E+05	6.07E+05	5.92E+09	1.47E+06	2.89E+05	1.78E+05
	Std	4.58E+04	8.66E+04	1.47E+05	1.42E+10	6.92E+06	1.16E+05	5.14E+04
	CPU	2.728	0.978	0.865	1.083	4.108	0.915	0.813
F11	Mean	<u>9.95E+09</u>	1.88E+11	1.77E+11	3.50E+11	1.49E+11	3.15E+10	5.99E+10
	Std	2.78E+09	2.61E+10	2.25E+10	4.02E+10	1.40E+10	6.29E+09	1.32E+10
	CPU	2.971	1.099	1.036	1.250	4.235	1.025	0.895
F12	Mean	<u>3.94E+07</u>	4.40E+10	4.12E+10	9.02E+10	3.33E+10	2.58E+09	5.92E+09
	Std	5.10E+07	8.27E+09	6.48E+09	1.05E+10	3.83E+09	7.67E+08	2.78E+09
	CPU	2.693	0.949	0.905	1.082	4.272	0.951	0.851
F13	Mean	<u>6.38E+06</u>	1.19E+08	1.13E+08	8.49E+08	3.11E+07	2.19E+07	2.61E+07
	Std	1.94E+06	9.14E+07	5.76E+07	2.83E+08	2.07E+07	1.11E+07	9.48E+06
	CPU	3.456	1.229	1.043	1.300	4.374	1.079	0.989
F14	Mean	<u>4.63E+06</u>	2.09E+10	1.39E+10	4.97E+10	1.41E+10	5.75E+08	8.68E+08
	Std	1.50E+06	5.51E+09	3.47E+09	6.05E+09	1.98E+09	2.60E+08	7.56E+08
	CPU	2.641	0.918	0.856	1.089	4.247	0.906	0.803
F15	Mean	<u>1.21E+04</u>	2.03E+04	1.74E+04	4.26E+04	1.80E+04	1.72E+04	1.27E+04
	Std	1.00E+03	2.69E+03	2.18E+03	5.75E+03	1.88E+03	2.54E+03	1.70E+03
	CPU	2.920	1.052	0.936	1.137	4.242	0.951	0.866
F16	Mean	<u>6.96E+03</u>	6.43E+06	7.96E+05	1.83E+08	6.71E+06	1.92E+04	1.23E+04
	Std	6.34E+02	7.70E+06	6.73E+05	1.82E+08	5.63E+06	1.37E+04	6.31E+03
	CPU	5.002	1.751	1.482	1.719	4.695	1.472	1.382
F17	Mean	<u>5.40E+06</u>	2.22E+08	1.42E+08	1.61E+09	5.25E+07	2.02E+07	3.69E+07
	Std	2.63E+06	1.93E+08	6.05E+07	4.87E+08	3.34E+07	1.12E+07	2.54E+07
	CPU	2.903	1.035	0.931	1.163	4.215	1.075	0.977
F18	Mean	<u>8.40E+06</u>	2.18E+10	1.44E+10	4.83E+10	1.39E+10	4.73E+08	8.97E+08
	Std	3.94E+06	5.01E+09	3.76E+09	7.80E+09	2.95E+09	2.35E+08	6.47E+08
	CPU	13.956	4.817	3.718	3.737	7.147	3.633	3.581
F19	Mean	<u>6.04E+03</u>	6.14E+03	8.47E+03	8.37E+03	6.70E+03	7.18E+03	6.05E+03
	Std	6.53E+02	4.52E+02	4.00E+02	3.09E+02	6.03E+02	6.16E+02	4.21E+02
	CPU	5.196	1.913	1.530	1.795	5.057	1.546	1.398
F20	Mean	4.60E+03	4.83E+03	4.78E+03	5.35E+03	5.38E+03	4.40E+03	<u>4.06E+03</u>
	Std	2.67E+02	2.52E+02	1.52E+02	2.40E+02	2.80E+02	2.12E+02	1.43E+02
	CPU	8.647	2.916	2.359	2.604	5.683	2.523	2.278

Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2017 (100 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
F21	Mean	2.54E+04	2.79E+04	3.46E+04	3.58E+04	2.49E+04	3.23E+04	3.08E+04
	Std	1.38E+03	1.30E+03	8.71E+02	5.76E+02	1.43E+03	1.57E+03	1.52E+03
	CPU	9.421	3.342	2.500	2.806	5.922	2.637	2.393
F22	Mean	6.37E+03	7.56E+03	5.47E+03	8.24E+03	8.72E+03	5.29E+03	4.93E+03
	Std	3.47E+02	5.35E+02	1.45E+02	6.25E+02	6.28E+02	2.56E+02	1.94E+02
	CPU	11.351	3.920	3.232	3.369	6.421	3.189	2.983
F23	Mean	8.10E+03	1.36E+04	7.25E+03	1.38E+04	1.35E+04	6.69E+03	6.52E+03
	Std	5.89E+02	1.07E+03	4.46E+02	1.17E+03	5.36E+02	3.67E+02	3.46E+02
	CPU	12.006	3.975	3.231	3.507	6.618	3.366	3.147
F24	Mean	6.29E+03	3.14E+04	1.34E+05	1.36E+05	2.04E+04	1.09E+04	1.84E+04
	Std	3.93E+02	3.87E+03	1.43E+04	1.62E+04	1.87E+03	1.09E+03	2.05E+03
	CPU	12.511	4.646	3.513	3.702	6.866	3.499	3.362
F25	Mean	3.31E+04	5.67E+04	4.44E+04	9.22E+04	4.62E+04	3.88E+04	4.15E+04
	Std	2.32E+03	4.92E+03	4.50E+03	9.95E+03	1.93E+03	3.84E+03	3.98E+03
	CPU	13.744	4.707	3.865	4.165	6.988	4.177	4.097
F26	Mean	1.18E+04	1.49E+04	6.84E+03	1.67E+04	1.67E+04	6.34E+03	6.65E+03
	Std	1.76E+03	1.44E+03	7.25E+02	1.40E+03	1.02E+03	7.41E+02	8.45E+02
	CPU	17.416	5.880	4.592	4.890	7.929	4.814	4.621
F27	Mean	1.03E+04	3.64E+04	3.64E+04	7.20E+04	2.76E+04	1.46E+04	2.32E+04
	Std	7.20E+02	3.76E+03	4.95E+03	6.51E+03	1.48E+03	1.17E+03	2.58E+03
	CPU	15.838	5.288	4.259	4.502	7.538	4.313	4.196
F28	Mean	1.40E+04	5.47E+05	4.00E+05	2.75E+07	2.75E+05	2.03E+04	2.10E+04
	Std	1.08E+03	7.69E+05	2.67E+05	2.18E+07	1.55E+05	3.64E+03	5.21E+03
	CPU	10.146	3.682	2.759	3.211	6.074	2.882	2.724
F29	Mean	5.92E+08	3.72E+10	2.18E+10	7.20E+10	2.97E+10	3.54E+09	3.51E+09
	Std	1.94E+08	7.02E+09	4.50E+09	1.67E+10	3.29E+09	1.78E+09	1.93E+09
	CPU	17.937	6.003	4.820	5.044	7.998	4.918	4.788
Total Best Result		17\29	0\29	0\29	0\29	8\29	1\29	3\29
Rank		1	5	5	5	2	4	3

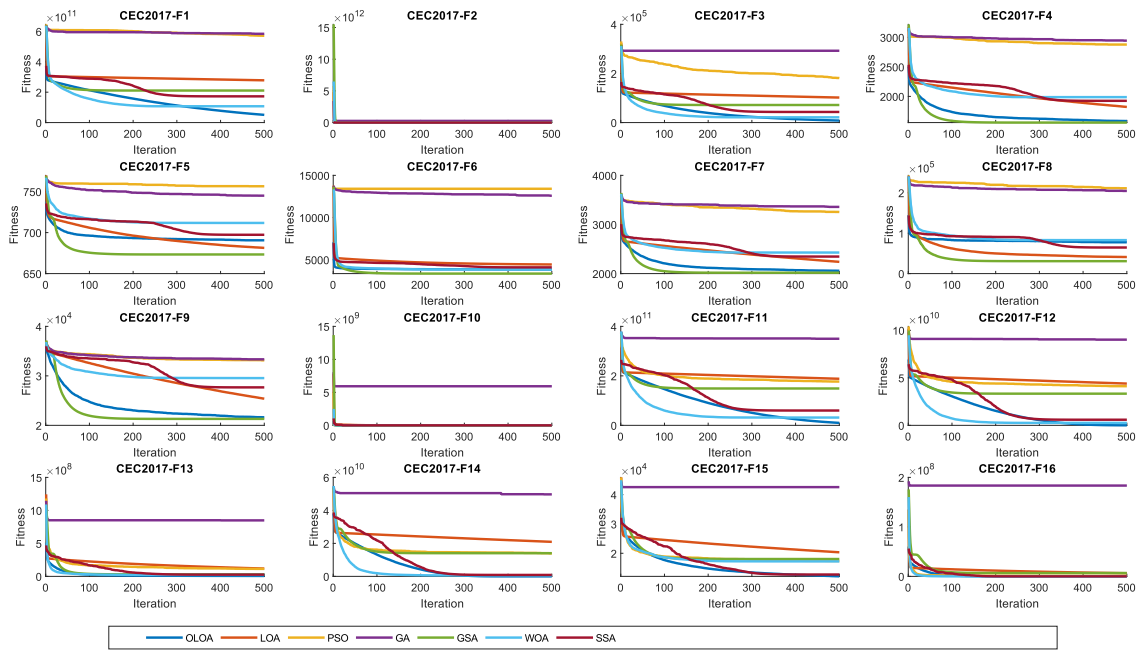
P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2017 (100 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F1	4.77E-46	1.00E-47	4.77E-67	2.33E-63	2.30E-35	7.26E-39
F2	1.17E-03	2.20E-28	4.35E-02	5.85E-02	9.47E-22	2.40E-01
F3	6.25E-35	5.28E-27	1.80E-42	2.66E-44	3.90E-28	8.19E-37
F4	9.39E-18	1.63E-45	5.81E-63	1.10E-01	1.21E-22	7.97E-21
F5	5.55E-10	2.55E-43	4.37E-45	1.54E-23	1.13E-14	1.23E-05
F6	1.22E-09	3.72E-65	1.87E-66	1.40E-19	9.40E-01	4.05E-06
F7	1.40E-11	7.20E-45	4.86E-54	9.78E-02	1.87E-24	5.77E-20
F8	4.32E-31	7.77E-45	9.28E-50	1.10E-41	1.19E-01	5.30E-11
F9	1.93E-17	1.45E-43	1.07E-46	3.66E-01	2.10E-30	7.79E-25
F10	2.79E-09	3.47E-24	2.58E-02	2.92E-01	3.21E-09	3.30E-04
F11	3.59E-42	3.65E-44	1.81E-47	5.04E-51	2.04E-24	5.60E-28
F12	2.79E-36	1.46E-40	6.46E-48	3.42E-48	1.63E-25	1.04E-16
F13	8.39E-09	1.70E-14	2.53E-23	1.87E-08	3.20E-10	4.16E-16
F14	1.41E-28	8.22E-30	8.13E-47	3.05E-43	2.29E-17	5.09E-08

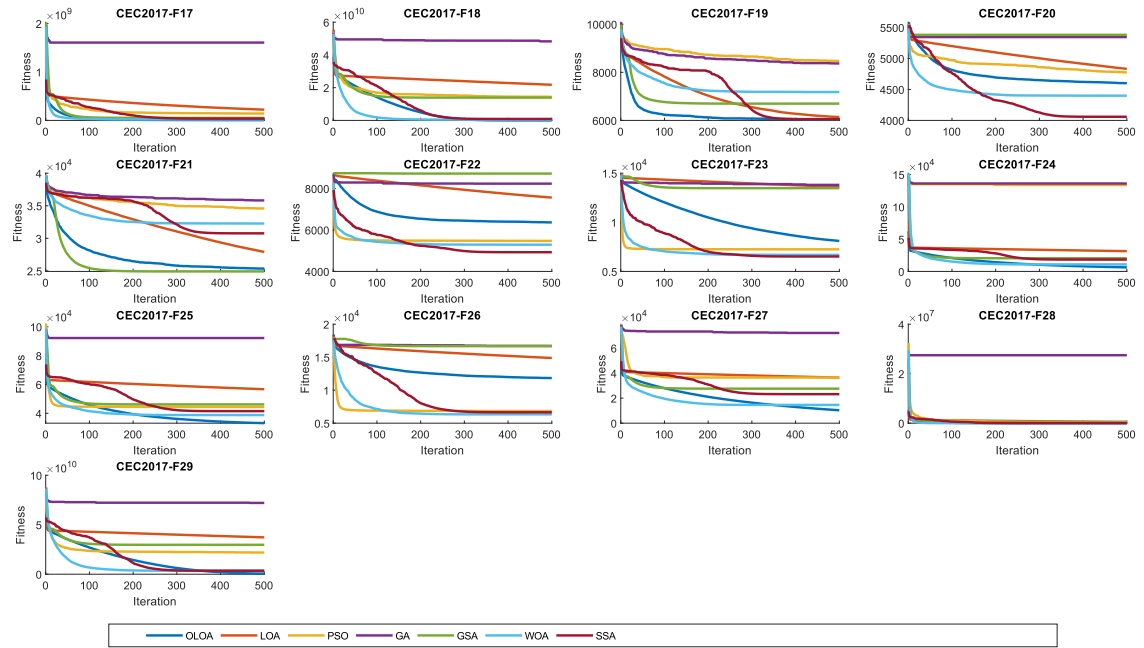
P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2017 (100 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F15	1.48E-22	2.22E-17	7.13E-36	6.34E-22	1.12E-14	8.55E-02
F16	2.59E-05	2.71E-08	8.48E-07	1.79E-08	9.08E-06	2.37E-05
F17	8.15E-08	6.63E-18	1.91E-25	2.03E-10	2.12E-09	7.90E-09
F18	1.33E-31	1.06E-28	6.28E-40	1.72E-33	1.48E-15	3.99E-10
F19	4.83E-01	1.08E-24	5.36E-25	1.50E-04	3.43E-09	9.32E-01
F20	1.03E-03	2.79E-03	2.17E-16	6.56E-16	2.02E-03	6.46E-14
F21	7.52E-10	8.59E-38	6.53E-43	2.29E-01	1.40E-25	7.82E-21
F22	1.13E-14	6.80E-19	1.06E-20	2.19E-25	8.59E-20	1.72E-27
F23	1.76E-32	4.57E-08	1.22E-31	4.86E-42	4.93E-16	2.64E-18
F24	6.28E-41	6.91E-49	3.63E-46	3.41E-44	1.52E-29	2.66E-38
F25	1.58E-31	1.43E-17	2.65E-38	1.78E-31	4.87E-09	4.01E-14
F26	7.53E-10	8.21E-21	3.39E-17	6.30E-19	1.07E-22	4.57E-21
F27	2.81E-42	6.61E-36	3.57E-50	8.22E-53	2.61E-24	6.80E-34
F28	3.51E-04	7.85E-11	4.62E-09	6.36E-13	8.40E-13	1.21E-09
F29	7.18E-36	1.61E-33	2.87E-31	1.38E-48	1.23E-12	2.41E-11

CEC Benchmark Functions2017



CEC Benchmark Functions2017



Comparison of optimization results for the CEC benchmark functions 2022 (20 Dim)

Functions		OLOA	LOA	PSO	GA	GSA	WOA	SSA
F1	Mean	<u>1.37E+04</u>	4.53E+04	1.06E+05	2.12E+09	3.01E+04	3.87E+04	3.00E+04
	Std	7.02E+03	2.00E+04	2.79E+04	8.15E+09	3.32E+03	1.27E+04	1.24E+04
	CPU	0.163	0.091	0.135	0.247	0.913	0.155	0.102
F2	Mean	<u>4.96E+02</u>	2.20E+03	1.86E+03	9.12E+03	6.52E+02	6.28E+02	6.23E+02
	Std	2.94E+01	8.22E+02	4.21E+02	2.67E+03	4.75E+01	8.92E+01	9.50E+01
	CPU	0.145	0.081	0.139	0.234	0.880	0.147	0.102
F3	Mean	6.65E+02	<u>6.58E+02</u>	6.70E+02	6.99E+02	6.62E+02	6.72E+02	6.59E+02
	Std	1.06E+01	8.72E+00	7.29E+00	8.09E+00	5.43E+00	1.06E+01	1.07E+01
	CPU	0.522	0.208	0.237	0.351	0.986	0.255	0.202
F4	Mean	8.90E+02	8.85E+02	1.02E+03	1.04E+03	<u>8.78E+02</u>	9.39E+02	8.93E+02
	Std	1.29E+01	1.97E+01	1.58E+01	1.69E+01	1.56E+01	2.46E+01	1.79E+01
	CPU	0.234	0.117	0.188	0.282	0.970	0.187	0.119
F5	Mean	2.91E+03	2.20E+03	8.36E+03	1.21E+04	<u>2.03E+03</u>	3.99E+03	2.67E+03
	Std	5.65E+02	3.88E+02	1.36E+03	1.78E+03	2.51E+02	1.26E+03	6.10E+02
	CPU	0.240	0.115	0.161	0.275	0.998	0.205	0.143
F6	Mean	2.36E+05	1.27E+09	2.32E+08	8.27E+09	<u>3.08E+03</u>	5.86E+06	3.00E+04
	Std	1.32E+05	8.17E+08	1.91E+08	2.22E+09	1.33E+03	7.24E+06	7.74E+04
	CPU	0.201	0.105	0.176	0.272	0.993	0.177	0.129
F7	Mean	2.19E+03	2.19E+03	2.23E+03	2.27E+03	2.35E+03	2.25E+03	<u>2.18E+03</u>
	Std	7.80E+01	5.22E+01	4.38E+01	4.53E+01	9.39E+01	8.01E+01	5.78E+01
	CPU	1.070	0.414	0.380	0.518	1.305	0.409	0.330
F8	Mean	2.49E+03	2.75E+03	2.45E+03	1.00E+04	2.49E+03	<u>2.32E+03</u>	2.32E+03
	Std	1.41E+02	8.76E+02	1.21E+02	9.56E+03	1.39E+02	7.72E+01	9.23E+01
	CPU	1.261	0.476	0.430	0.563	1.142	0.455	0.380
F9	Mean	<u>2.56E+03</u>	3.33E+03	2.85E+03	4.23E+03	2.71E+03	2.60E+03	2.65E+03
	Std	3.86E+01	4.09E+02	1.50E+02	6.02E+02	5.81E+01	5.56E+01	4.61E+01
	CPU	0.702	0.274	0.294	0.406	1.103	0.304	0.250
F10	Mean	4.52E+03	5.06E+03	5.70E+03	<u>4.15E+03</u>	5.25E+03	5.13E+03	4.55E+03
	Std	1.09E+03	5.45E+02	1.39E+03	1.22E+03	8.49E+02	1.26E+03	1.31E+03
	CPU	0.498	0.201	0.232	0.344	1.014	0.249	0.214
F11	Mean	<u>3.91E+03</u>	8.35E+03	6.98E+03	1.30E+04	5.35E+03	4.08E+03	4.07E+03
	Std	1.35E+03	8.82E+02	1.47E+03	2.14E+03	6.68E+02	1.09E+03	4.51E+02
	CPU	0.920	0.330	0.340	0.482	1.172	0.392	0.351
F12	Mean	3.76E+03	3.97E+03	<u>3.07E+03</u>	4.24E+03	4.53E+03	3.09E+03	3.09E+03
	Std	2.58E+02	2.81E+02	8.42E+01	2.84E+02	2.94E+02	1.20E+02	6.38E+01
	CPU	1.066	0.410	0.396	0.507	1.205	0.386	0.342
Total Best Result		4\12	1\12	1\12	1\12	3\12	1\12	1\12
Rank		1	3	3	3	2	3	3

P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2022 (20 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F1	3.43E-11	5.93E-25	1.59E-01	1.07E-16	2.43E-13	4.56E-08
F2	2.11E-16	5.38E-25	5.21E-25	4.91E-22	1.95E-10	3.18E-09
F3	7.75E-03	3.86E-02	7.86E-20	1.22E-01	1.82E-02	1.86E-02

P-value of the T-test analysis for the CEC benchmark functions 2022 (20 Dim)

Function	OLOA versus LOA	OLOA versus PSO	OLOA versus GA	OLOA versus GSA	OLOA versus WOA	OLOA versus SSA
F4	3.11E-01	2.27E-40	3.83E-43	2.19E-03	8.67E-14	4.35E-01
F5	4.61E-07	5.45E-28	1.61E-34	1.53E-10	6.81E-05	1.23E-01
F6	8.38E-12	1.17E-08	3.44E-28	1.20E-13	7.80E-05	7.44E-10
F7	7.31E-01	1.67E-02	2.37E-05	1.82E-09	8.65E-03	4.39E-01
F8	1.13E-01	2.24E-01	6.19E-05	8.89E-01	4.60E-07	1.47E-06
F9	1.11E-14	1.98E-14	7.20E-22	2.49E-17	1.02E-03	6.82E-11
F10	1.81E-02	5.42E-04	2.18E-01	5.36E-03	5.07E-02	9.32E-01
F11	8.80E-22	1.22E-11	1.94E-27	2.35E-06	5.98E-01	5.41E-01
F12	3.14E-03	3.09E-20	4.04E-09	1.49E-15	1.25E-18	4.15E-20

