Dokumentacja końcowa

Modyfikacja algorytmu ewolucji różnicowej

Michał Padzik

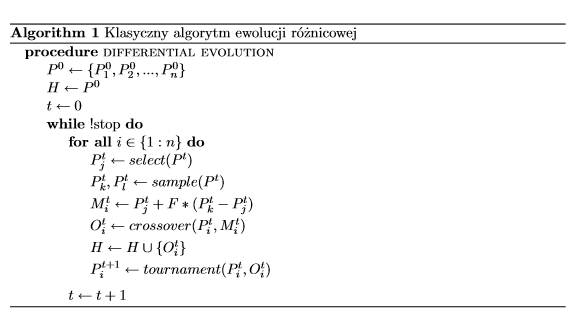
Albert Wolant

7 czerwca 2015

# Ogólny opis projektu

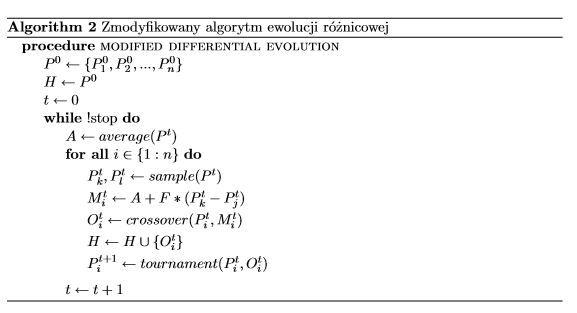
Projekt polegał na zaimplementowaniu i zbadaniu właściwości zmodyfikowanego algorytmu ewolucji różnicowej. Zaproponowana modyfikacja polega na zmianie wyboru pierwszego z punktów w mutacji osobnika. Punkt ten ma być zastąpiony średnią z aktualnej populacji. Projekt został wykonany w języku R.

Na potrzeby projektu zaimplementowano klasyczny algorytm ewolucji różnicowej według następującego pseudokodu:



Algorytm działa w popularnym wariancie *DE/rand/1/bin*. Stworzenie własnej implementacji standardowego algorytmu miało na celu wyrównanie szans algorytmów w eksperymentach. Dzięki temu, porównanie bardziej skupia się na proponowanej modyfikacji, a mniej na jakości implementacji i mechanizmów pomocniczych w algorytmie.

Następnie zaimplementowano dwa algorytmy zmodyfikowane, odpowiednio MOD1 i MOD2. Algorytm MOD1 realizuje modyfikację poprzez zastosowanie średniej arytmetycznej osobników populacji. W algorytmie MOD2 używa się średniej ważonej, gdzie wagami są wartości funkcji celu dla osobników. Oba algorytmy realizują poniższy pseudokod, z dokładnością do różnej operacji *average:*



# Opis eksperymentów

Procedura porównawcza algorytmów inspirowana była opisem zgłoszeń konkursu wykonywanego na zbiorze funkcji znanym pod nazwą CEC2013. Każdy z algorytmów został uruchomiony k razy na każdej z 28 funkcji benchmarku. Dodatkowo, przeprowadzono eksperymenty dla różnych wymiarowości problemów. Następnie obliczono wartości maksymalną, minimalną, średnią, medianę i odchylenie standardowe błędu populacji względem funkcji celu z k uruchomień każdego z algorytmów dla każdej z funkcji w każdej z badanych wymiarowości problemu. Zastosowano także proponowane w opisie kryterium stopu algorytmów. Mówi ono, że algorytm powinien zakończyć działanie po obliczeniu *m \* wymiarowość* razy wartości funkcji celu lub jeżeli błąd będzie mniejszy niż 10-8.

Ze względów praktycznych, głównie jeśli chodzi o czas uzyskania wyników, parametry przeprowadzonych eksperymentów różnią się od tych proponowanych w opisie benchmarku CEC2013. Dla każdego przypadku wykonano 5 niezależnych uruchomień. Eksperymenty przeprowadzono dla problemów o wymiarach 2, 5 i 10. Algorytmy kończyły działanie po *2500 \** *wymiarowość* ewaluacjach funkcji celu lub przy błędzie mniejszym od 10-8.

Eksperymenty wykonano na 10 komputerach klasy PC wyposażonych w procesory Intel Core i7 taktowane zegarami 2.8 GHz na wszystkich 4 rdzeniach oraz 8 Gb pamięci operacyjnej. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w środowisku „R Studio”. Zaprezentowane wyniki zostały uzyskane przy użyciu opisanych powyżej zasobów w około 8h nieprzerwanej pracy maszyn.

# Wyniki eksperymentów

Poniżej przedstawiona tabele będące wynikami przeprowadzonych eksperymentów razem z ich analizą przeprowadzoną za pomocą testu t:

Tabela Algorytm Standardowy, 2 wymiary

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Standardowy algorytm ewolucji różnicowej, przypadek 2 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 2,05E-06 | 6,93E-06 | 4,45E-06 | 4,39E-06 | 1,82E-06 |
| 2 | 0,009880861 | 0,338800097 | 0,113475757 | 0,092279626 | 0,131961057 |
| 3 | 0,327389847 | 2,682140471 | 1,420650968 | 1,097807093 | 0,906685117 |
| 4 | 0,000493192 | 0,206667617 | 0,091627126 | 0,075580237 | 0,093336732 |
| 5 | 2,07E-05 | 0,000199571 | 9,53E-05 | 8,28E-05 | 6,71E-05 |
| 6 | 2,78E-06 | 0,000142815 | 3,88E-05 | 1,24E-05 | 5,87E-05 |
| 7 | 0,059039801 | 0,257598069 | 0,139477734 | 0,113020727 | 0,077009879 |
| 8 | 2,701899473 | 13,3581884 | 7,538374656 | 7,080692015 | 4,647589954 |
| 9 | 0,09332612 | 0,348005583 | 0,252610238 | 0,272129757 | 0,102147917 |
| 10 | 0,000245098 | 0,049854026 | 0,032996682 | 0,040934482 | 0,019459281 |
| 11 | 0,008820066 | 0,122487882 | 0,05135739 | 0,052885774 | 0,046377849 |
| 12 | 0,017184823 | 0,197515432 | 0,100925172 | 0,087992361 | 0,072016734 |
| 13 | 0,002921566 | 0,202417158 | 0,082821271 | 0,020044044 | 0,100095771 |
| 14 | 2,351535517 | 16,06998827 | 7,221391342 | 5,55272126 | 5,249912725 |
| 15 | 5,590627503 | 13,05887893 | 10,88207335 | 11,6068912 | 3,045337928 |
| 16 | 0,387300061 | 0,782094099 | 0,540093508 | 0,486333572 | 0,154866105 |
| 17 | 0,427094551 | 2,295038652 | 1,650284671 | 1,894426459 | 0,738406691 |
| 18 | 1,302044488 | 2,396410053 | 2,102893835 | 2,271877233 | 0,452673397 |
| 19 | 0,000253797 | 0,007194906 | 0,002062499 | 0,001120492 | 0,002911895 |
| 20 | 0,019441125 | 0,021335674 | 0,020436817 | 0,020293118 | 0,000708438 |
| 21 | 0,020182028 | 0,270149749 | 0,160841004 | 0,14189028 | 0,100815949 |
| 22 | 15,13314732 | 64,28965628 | 36,64551583 | 30,70294 | 22,96909525 |
| 23 | 3,933327878 | 18,82637339 | 11,4345841 | 11,4864972 | 5,295145051 |
| 24 | 0,087982167 | 6,631776884 | 2,659674754 | 2,633777052 | 2,527698553 |
| 25 | 1,25282173 | 19,50019833 | 6,57288708 | 3,521801031 | 7,479151372 |
| 26 | 0,343837486 | 3,097360737 | 1,268014493 | 0,903236412 | 1,068900585 |
| 27 | 122,8590709 | 191,3681143 | 150,7853411 | 150,9648251 | 26,57316092 |
| 28 | 0,191338194 | 0,636899453 | 0,447078557 | 0,528427866 | 0,204426868 |

Tabela Algorytm Standardowy, 5 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Standardowy algorytm ewolucji różnicowej, przypadek 5 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 0,003939692 | 0,007534606 | 0,005077132 | 0,004619523 | 0,001476416 |
| 2 | 894,4353866 | 10843,20262 | 4819,268355 | 4194,238343 | 3888,858851 |
| 3 | 62308,01473 | 395291,5499 | 159593,4515 | 123635,4435 | 135499,7248 |
| 4 | 79,66028544 | 432,6418759 | 195,7751071 | 145,9877973 | 144,5127422 |
| 5 | 0,071013725 | 0,098666673 | 0,086842357 | 0,087680761 | 0,010484128 |
| 6 | 0,388786566 | 0,702338834 | 0,574542483 | 0,573447246 | 0,124458729 |
| 7 | 3,384519843 | 6,856244599 | 5,500886227 | 5,987907352 | 1,434514498 |
| 8 | 20,05725577 | 20,20329983 | 20,12697918 | 20,11337507 | 0,070494999 |
| 9 | 2,884501187 | 3,541037431 | 3,230763594 | 3,350483837 | 0,314573711 |
| 10 | 0,347950814 | 0,689584878 | 0,5161208 | 0,57086421 | 0,143142027 |
| 11 | 5,657516774 | 9,218787061 | 7,593854211 | 7,718317177 | 1,267417711 |
| 12 | 6,761981792 | 15,34500246 | 11,09160871 | 11,30850421 | 3,113963973 |
| 13 | 9,365410041 | 12,76460721 | 11,42044443 | 11,60300465 | 1,274867816 |
| 14 | 472,7269845 | 534,7688581 | 492,6906102 | 476,6972651 | 26,78299368 |
| 15 | 648,3798361 | 806,4593828 | 710,2963774 | 700,1311687 | 66,62614417 |
| 16 | 0,679042972 | 1,28448584 | 1,074952966 | 1,206294885 | 0,256824013 |
| 17 | 8,03358972 | 16,40371436 | 13,1815443 | 14,18401741 | 3,255677223 |
| 18 | 6,556255297 | 18,78540884 | 14,985749 | 16,93015681 | 5,108941536 |
| 19 | 0,225343526 | 0,874680023 | 0,538653859 | 0,476590544 | 0,276677372 |
| 20 | 1,151838577 | 1,759872297 | 1,595202797 | 1,718807054 | 0,25378682 |
| 21 | 300,827355 | 301,8385093 | 301,3041128 | 301,3635392 | 0,457538535 |
| 22 | 563,9837004 | 888,1525745 | 716,5198736 | 684,5479526 | 137,486671 |
| 23 | 467,2873231 | 1012,319726 | 786,3756297 | 798,8973013 | 207,3541213 |
| 24 | 172,8473892 | 209,6027561 | 186,2363619 | 184,4276964 | 14,83580643 |
| 25 | 175,0329507 | 189,5929 | 181,6974801 | 181,2466743 | 5,63946533 |
| 26 | 141,2940453 | 200,0078191 | 159,1586646 | 146,1600153 | 24,35883892 |
| 27 | 374,3214902 | 404,157166 | 386,5918469 | 382,1563114 | 12,66367573 |
| 28 | 300,6479588 | 301,5605039 | 301,2019875 | 301,2403752 | 0,349765824 |

Tabela Algorytm Standardowy, 10 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Standardowy algorytm ewolucji różnicowej, przypadek 10 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 13,24063815 | 19,66613931 | 17,6703125 | 18,54682271 | 2,599255192 |
| 2 | 6243723,105 | 8492836,575 | 7313052,623 | 7415183,655 | 1018401,502 |
| 3 | 3578175435 | 14117862840 | 8563390806 | 8552037069 | 4057822932 |
| 4 | 31420,80965 | 44277,77409 | 36098,6066 | 33636,07208 | 5408,627215 |
| 5 | 17,6575258 | 34,49080731 | 23,57748798 | 18,83856246 | 7,45855523 |
| 6 | 11,06362497 | 15,87638255 | 12,37727961 | 11,3692539 | 2,029423006 |
| 7 | 213,0763429 | 269,0259667 | 233,8352395 | 229,7005002 | 22,22935482 |
| 8 | 20,36137297 | 20,44260814 | 20,4062709 | 20,4092201 | 0,032316175 |
| 9 | 8,360135055 | 10,34345917 | 9,336807526 | 9,379100593 | 0,73485775 |
| 10 | 20,07667596 | 51,83841658 | 34,47110391 | 30,49582935 | 11,97538051 |
| 11 | 35,42734464 | 53,43378898 | 45,83559162 | 47,40150633 | 6,696087759 |
| 12 | 57,49669163 | 69,17027494 | 62,25384129 | 60,37629556 | 4,972370413 |
| 13 | 41,59530818 | 62,23250875 | 53,32541387 | 55,19876944 | 8,312601981 |
| 14 | 1862,286066 | 2094,073502 | 1956,866706 | 1932,470685 | 94,09588472 |
| 15 | 1876,856362 | 2263,687752 | 2129,835869 | 2227,662638 | 170,0154812 |
| 16 | 0,857122152 | 1,662628996 | 1,385136635 | 1,501298528 | 0,325888649 |
| 17 | 62,10140903 | 73,03211381 | 66,00993121 | 64,49184033 | 4,17595071 |
| 18 | 59,44116034 | 68,76811333 | 64,75783891 | 67,67647904 | 4,615445872 |
| 19 | 4,607111935 | 5,834733563 | 5,252513148 | 5,260079603 | 0,503147922 |
| 20 | 4,253556329 | 4,435870479 | 4,341266749 | 4,313726636 | 0,077315931 |
| 21 | 308,4611013 | 402,06024 | 376,057989 | 401,4191228 | 40,71617758 |
| 22 | 1892,342446 | 2426,371157 | 2179,129804 | 2201,733883 | 229,7430474 |
| 23 | 2190,289468 | 2436,937283 | 2341,961423 | 2336,585415 | 99,22780644 |
| 24 | 223,3546624 | 228,4591905 | 226,3322678 | 226,7765302 | 1,952645217 |
| 25 | 219,4532068 | 226,1706742 | 223,0326085 | 223,345648 | 2,415378667 |
| 26 | 211,563526 | 290,942944 | 256,4060505 | 267,6265745 | 33,52638563 |
| 27 | 540,387612 | 578,2587889 | 557,126799 | 556,5643304 | 16,05932018 |
| 28 | 411,6519016 | 451,783014 | 429,6508524 | 426,814389 | 16,5537428 |

Tabela Algorytm MOD1, 2 wymiary

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia arytmetyczna, przypadek 2 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 3,40E-08 | 8,40E-08 | 5,76E-08 | 5,70E-08 | 1,80E-08 |
| 2 | 4,01E-06 | 6,40E-05 | 2,96E-05 | 2,74E-05 | 2,18E-05 |
| 3 | 0,001462857 | 0,006955458 | 0,003452778 | 0,001824708 | 0,002525746 |
| 4 | 5,61E-06 | 5,98E-05 | 2,65E-05 | 2,45E-05 | 2,11E-05 |
| 5 | 3,20E-08 | 6,66E-07 | 2,33E-07 | 1,36E-07 | 2,55E-07 |
| 6 | 8,00E-09 | 0,008830926 | 0,002117172 | 4,81E-05 | 0,00382269 |
| 7 | 0,004888715 | 0,021210015 | 0,009779857 | 0,007599132 | 0,00649665 |
| 8 | 0,091662048 | 7,877334307 | 3,819416973 | 3,421315879 | 3,009036219 |
| 9 | 0,179704429 | 0,375500336 | 0,277782192 | 0,303652114 | 0,078821846 |
| 10 | 0,007258892 | 0,031902688 | 0,016682752 | 0,015790279 | 0,009406399 |
| 11 | 0,12018124 | 0,998221079 | 0,350773316 | 0,215372019 | 0,367027795 |
| 12 | 0,02268455 | 0,459068472 | 0,304120731 | 0,351240194 | 0,170222025 |
| 13 | 0,017022906 | 0,332165371 | 0,12809086 | 0,021541107 | 0,151439918 |
| 14 | 0,444732232 | 13,63975096 | 3,878337718 | 2,023510376 | 5,52402888 |
| 15 | 0,388432147 | 4,156883492 | 1,836747163 | 1,504402299 | 1,60976083 |
| 16 | 0,255242025 | 1,13929237 | 0,567699289 | 0,528498106 | 0,341810986 |
| 17 | 0,39284807 | 2,314294138 | 1,721081802 | 2,143026848 | 0,798734304 |
| 18 | 1,140174065 | 2,529647158 | 1,895977679 | 2,178278791 | 0,596514698 |
| 19 | 1,62E-05 | 0,000117291 | 7,81E-05 | 8,24E-05 | 3,75E-05 |
| 20 | 0,002844011 | 0,01945484 | 0,0151074 | 0,019432499 | 0,007198999 |
| 21 | 4,598973204 | 21,36444512 | 11,42031604 | 11,53236312 | 6,340680514 |
| 22 | 1,238182338 | 34,88661849 | 17,62567053 | 15,3070583 | 12,33244748 |
| 23 | 0,406437834 | 36,15267063 | 19,67380763 | 20,53950427 | 15,58758633 |
| 24 | 0,319785293 | 6,2364446 | 3,73195028 | 4,803941163 | 2,709357971 |
| 25 | 1,361346985 | 19,47825657 | 7,901348928 | 8,314996104 | 7,331031673 |
| 26 | 0,046440399 | 0,517659719 | 0,213801691 | 0,146935711 | 0,182645259 |
| 27 | 55,11428744 | 101,3515963 | 81,91814895 | 89,11327234 | 21,65720952 |
| 28 | 3,498688439 | 21,91997589 | 13,3201519 | 17,78755249 | 8,231427988 |

Tabela Algorytm MOD1, 5 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia arytmetyczna, przypadek 5 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 3,10E-08 | 9,30E-08 | 5,32E-08 | 4,20E-08 | 2,44E-08 |
| 2 | 0,003916793 | 0,033970633 | 0,015627433 | 0,012747204 | 0,011243596 |
| 3 | 0,072293836 | 0,349859981 | 0,133413651 | 0,079216885 | 0,121124337 |
| 4 | 2,63E-05 | 0,000286583 | 0,000155699 | 0,000152216 | 0,000108935 |
| 5 | 2,30E-08 | 9,40E-08 | 6,22E-08 | 7,10E-08 | 2,76E-08 |
| 6 | 0,044891793 | 0,961803879 | 0,377905379 | 0,206689566 | 0,387880916 |
| 7 | 0,00717951 | 0,060253378 | 0,031682676 | 0,034383129 | 0,023588531 |
| 8 | 20,11333811 | 20,16519162 | 20,14094301 | 20,15204967 | 0,025342544 |
| 9 | 2,237215412 | 3,495309976 | 2,936201303 | 3,086718711 | 0,487773072 |
| 10 | 0,132855678 | 0,28176039 | 0,208729776 | 0,193667205 | 0,060043819 |
| 11 | 4,841210926 | 9,3143455 | 6,661967924 | 6,159364635 | 1,741617336 |
| 12 | 3,505172878 | 9,772139914 | 5,90037917 | 4,920547863 | 2,463256239 |
| 13 | 3,955013815 | 7,304180767 | 5,984683313 | 5,836616786 | 1,343226669 |
| 14 | 283,7179544 | 353,7872375 | 317,299635 | 302,5342007 | 32,29944021 |
| 15 | 246,333559 | 427,1424175 | 328,7829088 | 323,9556242 | 65,50254713 |
| 16 | 0,708837907 | 1,486400595 | 1,158516871 | 1,124909929 | 0,332533589 |
| 17 | 9,047418758 | 10,73375 | 9,85320673 | 9,742999372 | 0,687201509 |
| 18 | 8,260093251 | 13,60524353 | 11,6303176 | 12,05456627 | 1,996534245 |
| 19 | 0,341022029 | 0,74552095 | 0,518948162 | 0,544678174 | 0,162736111 |
| 20 | 0,68099749 | 1,197920217 | 0,915661732 | 0,822432638 | 0,257454677 |
| 21 | 300,0000799 | 300,0011467 | 300,0004222 | 300,000259 | 0,000419258 |
| 22 | 408,6846149 | 532,3962779 | 495,6579188 | 526,9442533 | 53,07969813 |
| 23 | 453,3851096 | 793,3661067 | 618,8563495 | 635,1297444 | 135,9413083 |
| 24 | 141,1758161 | 189,2551843 | 172,7778018 | 179,2058442 | 18,7786532 |
| 25 | 109,9346331 | 114,0353193 | 112,1717737 | 112,2077719 | 1,488833688 |
| 26 | 104,4255528 | 112,0358326 | 107,0850668 | 106,6359074 | 3,085586206 |
| 27 | 363,2349176 | 393,9301375 | 382,4315877 | 385,4841327 | 11,67084769 |
| 28 | 300,0000629 | 300,0001191 | 300,0000938 | 300,0001036 | 2,35E-05 |

Tabela Algorytm MOD1, 10 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia arytmetyczna, przypadek 10 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 5,50E-08 | 9,40E-08 | 7,86E-08 | 8,50E-08 | 1,63E-08 |
| 2 | 8,490217535 | 26,86325521 | 17,29769416 | 16,12881839 | 7,298244743 |
| 3 | 470,7862185 | 36468,75796 | 17957,06141 | 10974,88479 | 16458,83306 |
| 4 | 0,032279899 | 0,085841242 | 0,067089548 | 0,072702536 | 0,020340018 |
| 5 | 5,80E-08 | 9,10E-08 | 7,84E-08 | 8,40E-08 | 1,27E-08 |
| 6 | 5,374623862 | 6,213144384 | 5,673848458 | 5,576767404 | 0,320924883 |
| 7 | 0,481158011 | 1,390748938 | 0,989514706 | 1,048750655 | 0,353811217 |
| 8 | 20,29230448 | 20,53513051 | 20,40116823 | 20,36921548 | 0,092739416 |
| 9 | 9,514607796 | 10,07978777 | 9,755717041 | 9,816063867 | 0,241258693 |
| 10 | 0,391882106 | 0,573708842 | 0,472352395 | 0,467911185 | 0,065920746 |
| 11 | 26,33381653 | 35,67135674 | 30,80191042 | 29,3204394 | 3,790680348 |
| 12 | 23,4406593 | 35,17578834 | 29,80905818 | 28,23771478 | 5,199056642 |
| 13 | 26,9030416 | 41,08045052 | 32,99967913 | 28,85808141 | 7,134942342 |
| 14 | 1295,373515 | 1583,557335 | 1440,717754 | 1425,628005 | 120,7537395 |
| 15 | 989,6595147 | 1882,041832 | 1497,876646 | 1692,906288 | 382,6574354 |
| 16 | 1,022462674 | 1,500926083 | 1,338446203 | 1,423903139 | 0,193054021 |
| 17 | 29,1555632 | 43,94340472 | 36,78169293 | 35,88889703 | 5,99138928 |
| 18 | 34,35695914 | 45,80801943 | 39,82778506 | 39,01766067 | 4,338274583 |
| 19 | 2,648716993 | 3,155089273 | 2,853320484 | 2,739702995 | 0,214299322 |
| 20 | 3,506029252 | 3,722181087 | 3,593718781 | 3,576517383 | 0,093432381 |
| 21 | 400,1938672 | 400,1938672 | 400,1938672 | 400,1938672 | 0 |
| 22 | 1740,817042 | 1971,661501 | 1852,176539 | 1864,860784 | 89,9775756 |
| 23 | 1627,942754 | 1935,247705 | 1816,2116 | 1856,19491 | 128,5569629 |
| 24 | 223,1903743 | 226,4734814 | 224,5976876 | 224,858725 | 1,399511755 |
| 25 | 222,6584022 | 226,2657909 | 224,179391 | 224,1028473 | 1,370535352 |
| 26 | 200,0157002 | 200,0161652 | 200,0158127 | 200,0157352 | 0,000198167 |
| 27 | 545,6578 | 570,5262671 | 553,5595214 | 550,5463797 | 9,810598322 |
| 28 | 300,0001469 | 300,0002292 | 300,0001841 | 300,0001789 | 3,34E-05 |

Tabela Algorytm MOD2, 2 wymiary

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia ważona, przypadek 2 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 4,00E-09 | 9,30E-08 | 3,92E-08 | 3,20E-08 | 3,42E-08 |
| 2 | 0,000335351 | 0,480059418 | 0,097274515 | 0,001057722 | 0,213989615 |
| 3 | 16,56886185 | 2834,094264 | 961,4455424 | 805,8875392 | 1145,280115 |
| 4 | 0,000590065 | 0,064051111 | 0,015024856 | 0,002738432 | 0,027472869 |
| 5 | 8,05E-07 | 6,72E-06 | 3,72E-06 | 4,02E-06 | 2,52E-06 |
| 6 | 0,000426834 | 0,006935137 | 0,005024198 | 0,006295368 | 0,002708191 |
| 7 | 0,420089898 | 0,610681286 | 0,520177967 | 0,52594095 | 0,06826212 |
| 8 | 0,151485602 | 5,875341255 | 3,254703567 | 3,708785018 | 2,100375703 |
| 9 | 0,112119848 | 0,270805832 | 0,17607061 | 0,179261862 | 0,061028349 |
| 10 | 0,009550323 | 0,031895682 | 0,019798357 | 0,018256313 | 0,008213798 |
| 11 | 0,058099101 | 1,03150874 | 0,341593005 | 0,089716492 | 0,421780065 |
| 12 | 0,016198189 | 0,483451739 | 0,190949111 | 0,157696216 | 0,182367865 |
| 13 | 0,034277933 | 0,053255482 | 0,043485754 | 0,043724079 | 0,006847888 |
| 14 | 0,48737377 | 16,69386894 | 5,505970743 | 3,804225955 | 6,469034783 |
| 15 | 3,593473574 | 29,50732049 | 15,84097672 | 17,05404402 | 11,28280786 |
| 16 | 0,26913346 | 0,687073585 | 0,478990201 | 0,496438681 | 0,163922716 |
| 17 | 0,418900663 | 2,205177276 | 1,564435441 | 1,896197366 | 0,745408406 |
| 18 | 1,338481874 | 2,238919725 | 1,932533043 | 1,984755413 | 0,354959746 |
| 19 | 9,63E-07 | 0,000265812 | 8,21E-05 | 4,84E-05 | 0,000108857 |
| 20 | 0,019434158 | 0,022279643 | 0,02003306 | 0,019469741 | 0,001256279 |
| 21 | 2,382555796 | 26,92407199 | 13,01101098 | 10,97071246 | 8,907978764 |
| 22 | 5,888268672 | 36,42096834 | 22,26391026 | 23,77254115 | 12,07551208 |
| 23 | 0,398618034 | 47,79344036 | 13,14457955 | 4,950850006 | 19,93527753 |
| 24 | 1,503886472 | 5,647858184 | 3,173884462 | 2,856735493 | 1,529411829 |
| 25 | 1,618502844 | 8,702050036 | 3,64077645 | 2,711348278 | 2,922627912 |
| 26 | 0,197847398 | 1,324621396 | 0,782189497 | 0,689743534 | 0,506430775 |
| 27 | 45,32850085 | 144,5045311 | 105,6177227 | 110,4197354 | 37,47848482 |
| 28 | 4,175212882 | 12,17847742 | 7,575353618 | 7,403524916 | 2,898939337 |

Tabela Algorytm MOD2, 5 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia ważona, przypadek 5 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 7,20E-08 | 9,50E-08 | 8,54E-08 | 9,20E-08 | 1,14E-08 |
| 2 | 0,021624042 | 0,120068984 | 0,05439616 | 0,044342736 | 0,040205446 |
| 3 | 405,2837031 | 113107,1006 | 25366,28445 | 4219,868065 | 49137,23869 |
| 4 | 0,000502744 | 0,003063778 | 0,001284027 | 0,001092628 | 0,00102928 |
| 5 | 4,40E-08 | 1,00E-07 | 8,56E-08 | 9,70E-08 | 2,35E-08 |
| 6 | 0,137962856 | 0,894619073 | 0,377391898 | 0,228245528 | 0,306870013 |
| 7 | 0,178588918 | 0,580160446 | 0,357930061 | 0,284996563 | 0,165127343 |
| 8 | 20,07258593 | 20,18411478 | 20,1126291 | 20,10026442 | 0,045292963 |
| 9 | 2,442106876 | 3,362541926 | 2,83888208 | 2,593606991 | 0,417796816 |
| 10 | 0,091134763 | 0,204803545 | 0,132541718 | 0,108279469 | 0,047799927 |
| 11 | 3,667793816 | 9,105827548 | 5,3785053 | 4,9627039 | 2,171265007 |
| 12 | 1,673787134 | 6,23294338 | 4,659116333 | 5,380314901 | 1,864701411 |
| 13 | 5,321370717 | 8,960195957 | 7,145704799 | 6,855654752 | 1,338207535 |
| 14 | 211,4255789 | 431,8768217 | 352,6576452 | 385,1427123 | 84,47359154 |
| 15 | 177,9673832 | 561,3575027 | 351,6071197 | 376,8698453 | 155,2025604 |
| 16 | 0,670993406 | 1,160649099 | 0,969690485 | 1,033464403 | 0,195658449 |
| 17 | 9,136882424 | 12,11515564 | 10,93020339 | 11,07550905 | 1,092054543 |
| 18 | 8,91206664 | 14,30813371 | 11,34352363 | 11,62799716 | 2,172478236 |
| 19 | 0,413729145 | 0,709547517 | 0,559761975 | 0,522547574 | 0,116143372 |
| 20 | 1,095443309 | 1,34588236 | 1,241153624 | 1,299393124 | 0,105890515 |
| 21 | 300,000491 | 300,8107461 | 300,1626457 | 300,0007003 | 0,362299165 |
| 22 | 484,9267703 | 607,7600672 | 554,0028483 | 573,2527461 | 51,86945655 |
| 23 | 516,309624 | 712,09606 | 644,3006135 | 660,1421319 | 76,91293936 |
| 24 | 149,8442356 | 195,3017333 | 171,5020782 | 178,2790445 | 20,07540005 |
| 25 | 109,9211319 | 113,5211273 | 112,156724 | 112,39872 | 1,336110601 |
| 26 | 99,68573135 | 110,0479 | 105,9084124 | 107,3205244 | 3,892770606 |
| 27 | 368,768547 | 396,9446622 | 383,285815 | 384,311138 | 11,06777381 |
| 28 | 300,0000635 | 300,0001629 | 300,000128 | 300,0001365 | 3,96E-05 |

Tabela Algorytm MOD2, 10 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zmodyfikowany algorytm ewolucji różnicowej - średnia ważona, przypadek 10 wymiarowy | | | | | |
| Func | **Best** | **Worst** | **Mean** | **Median** | **Standard deviation** |
| 1 | 5,80E-08 | 1,00E-07 | 7,52E-08 | 6,80E-08 | 1,65E-08 |
| 2 | 17,88470003 | 86,18533823 | 38,15143448 | 21,34270324 | 28,9946836 |
| 3 | 1090835,637 | 36826354,67 | 11386960,46 | 2401018,698 | 15216571,84 |
| 4 | 0,198702935 | 11,60376951 | 2,523227938 | 0,276878202 | 5,076297067 |
| 5 | 8,30E-08 | 1,75E-07 | 1,13E-07 | 9,40E-08 | 3,74E-08 |
| 6 | 4,126055202 | 6,186828679 | 5,200597637 | 5,117541512 | 0,760384305 |
| 7 | 3,716124684 | 12,40588544 | 7,525099148 | 7,580269157 | 3,232459699 |
| 8 | 20,40241253 | 20,54553155 | 20,47302675 | 20,49525911 | 0,060236799 |
| 9 | 9,456824218 | 10,333384 | 9,816295349 | 9,771222721 | 0,349140555 |
| 10 | 0,457657528 | 0,6010739 | 0,509972351 | 0,485154552 | 0,058775112 |
| 11 | 21,0243266 | 35,82763339 | 29,80565154 | 32,2439082 | 6,512727248 |
| 12 | 18,99129391 | 38,40857869 | 29,40345818 | 28,28193241 | 7,927460431 |
| 13 | 19,70732152 | 38,135713 | 28,5467994 | 30,95387566 | 7,327487721 |
| 14 | 1149,075164 | 1474,837747 | 1332,992139 | 1376,253146 | 138,1303378 |
| 15 | 1522,934142 | 1923,59763 | 1712,444271 | 1760,223096 | 159,4005529 |
| 16 | 1,047709176 | 1,587783427 | 1,250703138 | 1,074826371 | 0,265337677 |
| 17 | 30,89061819 | 41,78805093 | 36,2603215 | 35,8230778 | 4,61386044 |
| 18 | 32,10544346 | 45,35902344 | 40,14027616 | 40,27657367 | 5,042728079 |
| 19 | 1,891452716 | 3,04544194 | 2,519642876 | 2,468962353 | 0,424273153 |
| 20 | 3,400720352 | 3,795206476 | 3,548610237 | 3,495641166 | 0,158627173 |
| 21 | 400,1938672 | 400,1938672 | 400,1938672 | 400,1938672 | 0 |
| 22 | 1619,659003 | 1990,347701 | 1854,826984 | 1891,125609 | 143,2652681 |
| 23 | 1494,459027 | 2145,415646 | 1914,787681 | 1986,743071 | 250,3425659 |
| 24 | 223,1665567 | 226,1162278 | 224,7791417 | 224,4594972 | 1,25779211 |
| 25 | 225,4565905 | 227,4102165 | 226,2608041 | 225,9585938 | 0,746706541 |
| 26 | 200,0156999 | 200,0161316 | 200,0158116 | 200,0157368 | 0,000181282 |
| 27 | 519,5500393 | 566,89912 | 545,0020589 | 549,4571444 | 18,00607372 |
| 28 | 300,0001366 | 300,0002649 | 300,0002127 | 300,0002418 | 5,47E-05 |

Przedstawione powyżej wyniki eksperymentów poddano analizie przy pomocy testu t-Studenta. Pozwoliło to stwierdzić, czy zaobserwowane różnice pomiędzy algorytmami są statystycznie istotne. Test przeprowadzano na poziomie istotności 0,05 i przy 8 stopniach swobody. Daje to wartość krytyczną odczytaną z tablic równą **2,306.**

Poniższe tabele prezentują wzajemne porównanie algorytmów dla każdego przypadku testowego, czyli kombinacji funkcji i wymiarowości. Jeśli wynik testu wskazywał na istotne różnice, wyznaczano bilans algorytmu jako: -1 za przegraną, 1 za wygraną. Na podstawie wartości bilansu wyznaczano rangi algorytmów w każdym z przypadków testowych. W razie równych bilansów stosowano rangę remisową.

Tabela Testy T i rangi dla 2 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Testy t dla przypadku 2 wymiarowego | | | | | | | | | | | |
| Funk. | **Std vs. MOD1** | **Std vs. MOD2** | **Bilans Std** | **Ranga Std** | **MOD1 vs. Std** | **MOD1 vs. MOD2** | **Bilans MOD1** | **Ranga MOD1** | **MOD2 vs. Std** | **MOD2 vs. MOD1** | **Bilans MOD2** | **Ranga MOD2** |
| 1 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | -1 | 0 | -1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 5 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | -1 | 0 | -1 | 3 |
| 7 | -1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | -1 | -1 | -2 | 3 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 12 | 1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | -1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 15 | -1 | 0 | -1 | 2,5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | -1 | -1 | 2,5 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 21 | 1 | 1 | 2 | 1 | -1 | 0 | -1 | 2,5 | -1 | 0 | -1 | 2,5 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 3 |
| 27 | -1 | 0 | -1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 28 | 1 | 1 | 2 | 1 | -1 | 0 | -1 | 2,5 | -1 | 0 | -1 | 2,5 |

Tabela Testy T i rangi dla 5 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Testy t dla przypadku 5 wymiarowego | | | | | | | | | | | |
| Funkcja | **Std vs. MOD1** | **Std vs. MOD2** | **Bilans Std** | **Ranga Std** | **MOD1 vs. Std** | **MOD1 vs. MOD2** | **Bilans MOD1** | **Ranga MOD1** | **MOD2 vs. Std** | **MOD2 vs. MOD1** | **Bilans MOD2** | **Ranga MOD2** |
| 1 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 2 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 3 | -1 | 0 | -1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 5 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 7 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 10 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 12 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 13 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 14 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 15 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 20 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 21 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 22 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 25 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 26 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 28 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |

Tabela Testy i rangi dla 10 wymiarów

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Testy t dla przypadku 10 wymiarowego | | | | | | | | | | | |
| Funkcja | **Std vs. MOD1** | **Std vs. MOD2** | **Bilans Std** | **Ranga Std** | **MOD1 vs. Std** | **MOD1 vs. MOD2** | **Bilans MOD1** | **Ranga MOD1** | **MOD2 vs. Std** | **MOD2 vs. MOD1** | **Bilans MOD2** | **Ranga MOD2** |
| 1 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 2 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 3 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 4 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 5 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 6 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 7 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | -1 | 0 | 2 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 10 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 11 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 12 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 13 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 14 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 15 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 17 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 18 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 19 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 20 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 22 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 23 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 25 | 0 | 1 | 1 | 1,5 | 0 | 1 | 1 | 1,5 | -1 | -1 | -2 | 3 |
| 26 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 28 | -1 | -1 | -2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 1 | 0 | 1 | 1,5 |

Kolejna tabela prezentuje zbiorcze wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej wyników w postaci średnich rang z podziałem na wymiarowości problemów:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Średnie rangi | | | |
|  | **2 wymiary** | **5 wymiarów** | **10 wymiarów** | **Ogółem** |
| Standard | 2,018 | 2,607 | 2,732 | 2,452 |
| MOD1 | 1,839 | 1,607 | 1,589 | 1,679 |
| MOD2 | 2,143 | 1,786 | 1,679 | 1,869 |

Powyższą tabelę można potraktować jako główny wynik z przeprowadzonych eksperymentów.

Ponadto, głównie w celach poglądowych, wygenerowano wykresy zbieżności algorytmów dla przykładowych uruchomień dla przypadków 10 wymiarowych. Wykresy prezentują zmiany najlepszego i najgorszego osobnika oraz wartości średniej populacji w kolejnych iteracjach:

Rysunek Algorytm Standard, funkcja 12

Rysunek Algorytm MOD1, funkcja 12

Rysunek Algorytm MOD2, funkcja 12

Rysunek Algorytm Standard, funkcja 19

Rysunek Algorytm MOD1, funkcja 19

Rysunek Algorytm MOD2, funkcja 19

# Wnioski

Uzyskane wyniki pokazują, że zaproponowana modyfikacja ewolucji różnicowej może poprawić wyniki zwracane przez ten algorytm. Przeprowadzone eksperymenty i ich analiza pokazują, że w porównaniu ze standardowym algorytmem, oba zaimplementowane sposoby liczenia średniej mogą stanowić wartość dodaną. Ze względu na ograniczony zakres przeprowadzonych eksperymentów nie można stwierdzić, że algorytmy zmodyfikowane będą zawsze lepsze, ale z pewnością prezentowane wyniki mogą stanowić obiecujący początek dalszych badań. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że wraz ze wzrostem wymiarowości problemu, przewaga algorytmów zmodyfikowanych, wyrażona średnią rangą, rośnie. Przy próbie 3 wymiarów nie można jednakże powiedzieć czy jest to stały trend.

Proponowane kierunki dalszych badań mogłyby obejmować między innymi ulepszenie implementacji przedstawionych algorytmów i przeprowadzenie eksperymentów dla większej liczby niezależnych uruchomień i większych wymiarowości problemu. Dodatkowo interesujące może być sprawdzenie jak modyfikacja wpływa na algorytmy ewolucji różnicowej inne niż *DE/rand/1/bin*.