# Imperialist Competitive Algorithm

KIV/PPR

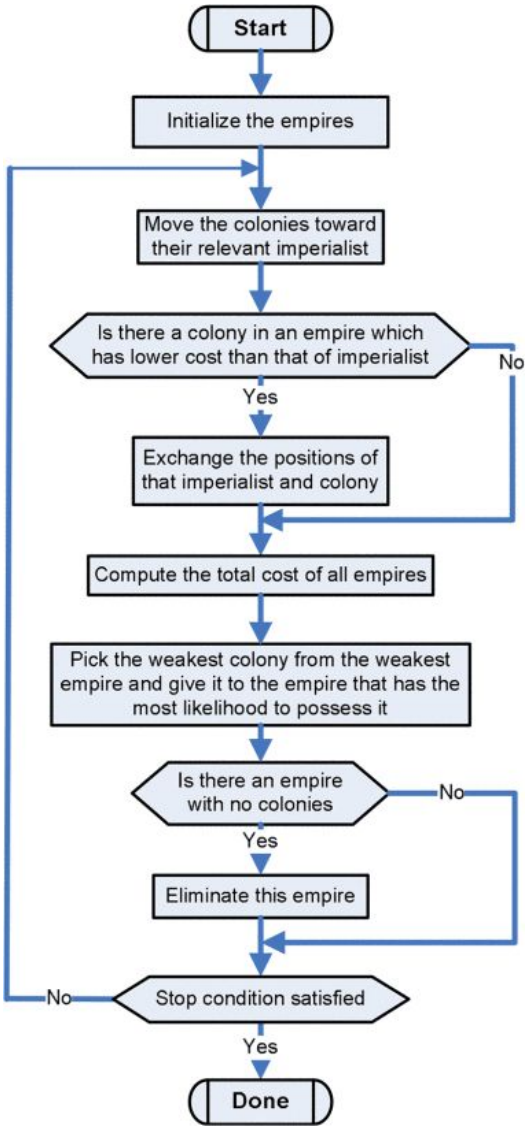
**David Pivovar**
pivovar@students.zcu.cz

# 1. Zadání

Implementujte buď stávající, nebo si navrhněte vlastní, evoluční algoritmus dle specifikovaného rozhraní - viz zdrojové soubory, soubor solver.cpp, funkce do_solve_generic. Algoritmus implementujte alespoň ve dvou verzích (SMP, OpenCL nebo MPI), čímž získáte alespoň dva solvery. V souboru descriptor.h si vygenerujte nové GUID pro vaše solvery a zadejte jejich název dle uvedeného vzoru. Nic jiného v tomto souboru neměňte.

# 2. Algoritmus

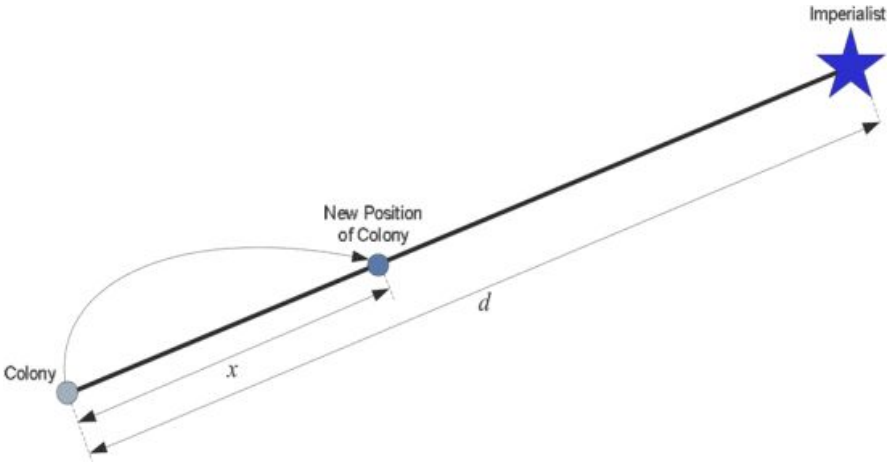
Pro zpracování úlohy jsem zvolil evoluční algoritmus Imperialist Competitive Algorithm (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4425083). Princip algoritmu (viz obr. 1) spočívá ve vygenerování počáteční populace, která se rozdělí na imperialisty a kolonie. Následně se kolonie pohybují s
měrem k imperialistům a migrují.



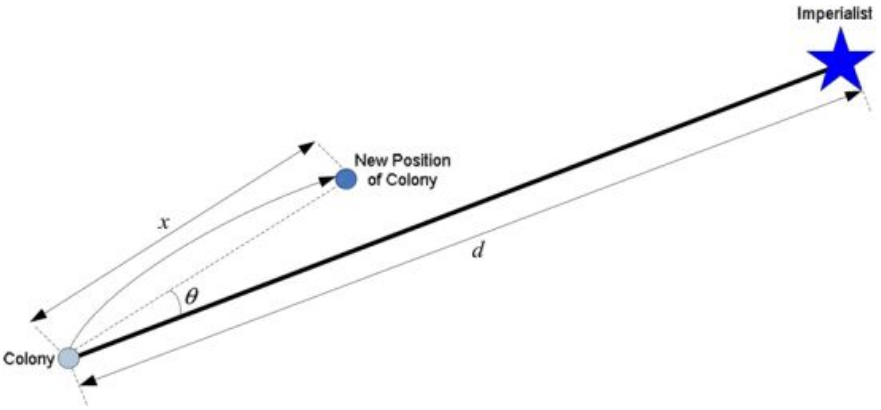

*Obr.1: Imperialist Competitive Algorithm*

## 2.1. Pohyb kolonií

Pohyb koloní se sestává ze dvou částí. Zaprvé pohyb kolonie k imperialistovi (obr. 2) a zadruhé výchylka pohybu (obr. 3). Tyto dvě složky jsem implementoval jako *U(0,1){V}*, kde U je vektor náhodných veličin s uniformním rozdělením a {V} je směrový vektor.




*Obr.2: Pohyb kolonie k imperialistovi*




*Obr.3: Výchylka pohybu*

Z důvodu častého uvíznutí v lokálním minimu v závislosti na počáteční vygenerované populaci jsem s pravděpodobností 1/(2*velikost populace) jsem pro kolonii vygeneroval zcela náhodou novou pozici. Toto řešení přineslo značné zlepšení konvergence do globálního minima.

## 2.2. Migrace kolonií

Po pohybu kolonie slabších impérií migrují k silnějším. V původní verzi mé implementace jsem migraci řešil dle pravděpodobností migrace k danému imperiu (silnější imperialista má větší pravděpodobnost). Ale při větším počtu imperialistů se stávalo, že několik imperialistů se v síle vyrovnalo a pouze si kolonie navzájem předávali.
Jelikož cílem bylo aby na konci zůstal pouze jeden imperialista, přistoupil jsem k řešení kdy nejslabší imperialista odevzdá svou nejslabší kolonii nejsilnějšímu imperialistovi.
Pokud imperialista ztratí všechny své kolonie, stává se z něj kolonie a je přiřazen nejsilnějšímu imperialistovi.

## 2.3. Stop condition

Podmínkou zastavení algoritmu je dosažení maximálního počtu generací nebo pokud posledních N řešení je stejných (tolerance ±10^-k). Ideální nastavení se jeví 100 posledních řešení s odchylkou ±10^-9.

# 3. Řešení

## 3.1. Serial

Výpočet sériové verze řeší třída *ICA*.
Metody třídy *ICA*:

- *gen_population*() - vygeneruje počáteční populaci
- *evolve*() - iterace algoritmu
- *move_all_colonies*() - pohyb kolonií
- *move_colony*() - přesun kolonie k imperialistovi
- *migrate_colonies*() - migrace kolonií
- *write_solution*() - zapíše výsledné řešení
- *calc_fitness*() - spočítá fitness funkci kolonie
- *calc_fitness_imp*() - spočítá fitness funkci imperialisty (imp_cost = imp_cost + 1/col_size * mean(cost_of_colonies)
- *clac_fitness_all*() - spočítá fitness funkci všech kolonií

Pomocné metody třídy *ICA*:

- *gen_double*() - vygeneruje náhodné číslo (double)
- *gen_vector*() - vygeneruje vektor náhodných čísel
- *vector_add*() - sečte 2 vektory
- *vector_sub*() - odečte 2 vektory
- *vector_mul*() - vynásobí 2 vektory
- *get_min*() - vrátí kolonii s nejmenší fitness funkcí
- *get_max*() - vrátí kolonii s největší fitness funkcí
- *print_vector*() - vypíše vektor
- *print_population*() - vypíše celou aktuální populaci

## 3.2. SMP

Výpočet SMP verze řeší třída *ICA_smp*, která dědí od třídy *ICA*. Paralelní výpočty jsou řešeny pomocí knihovny Intel® Threading Building Blocks (tbb). Jsou využívány funkce parallel_for a parallel_reduce a concurrent_vector
Metody třídy *ICA_smp*:

- *gen_population*() - paralelní generování kolonií a rozřazení kolonií mezi imperialisty
- *evolve*() - iterace algoritmu (paralelní zpracování imperialistů)
- *move_all_colonies*() - paralelní pohyb kolonií
- *calc_fitness*() - paralelní počítání fitness funkcí kolonií
- *calc_fitness_imp*() - spočítá fitness funkci imperialisty (parallel_reduce pro součet fitness kolonií)
- *get_min*() - parallel_reduce pro získání kolonie s nejmenší fitness funkcí
- *get_max*() - parallel_reduce pro získání kolonie s největší fitness funkcí

## 3.3. OpenCL

Výpočet OpenCL verze řeší třída *ICA_opencl*, která dědí od třídy *ICA_smp*. Tato třída implementuje paralelní výpočty třídy *ICA_smp* přes tbb a zároveň přidává paralelní výpočty vektorů na GPU přes OpenCL. Paralelní výpočty na GPU jsou prováděny až při dimenzi problému 100 a větší z důvodu nákladné režie na provedení výpočtu. Při malé dimenzi problému režie značně převyšuje urychlení výpočtu.
Metody třídy *ICA_opencl*:

- *init*() - inicializuje platformu, zařízení, kontext, frontu a program pro výpočty na GPU
- *move_colony*() - spočítá pohyb kolonie k imperialistovi na GPU
- *vector_op*() - provede vektorový výpočet na GPU
- *vector_add*() - sečte 2 vektory
- *vector_sub*() - odečte 2 vektory
- *vector_mul*() - vynásobí 2 vektory
- *shrRoundUp*() - spočte nejmenší velikost NDRange v závislosti na velikosti a počtu work-group

Funkce na GPU:

- *vector_add*() - sečte 2 vektory
- *vector_sub*() - odečte 2 vektory
- *vector_mul*() - vynásobí 2 vektory
- *move_colony*() - k pozici kolonie přičte náhodný vektor vynásobený směrovým vektorem

## 3.4. Country

Struktura *Country* reprezentuje kolonii, tj. vektor, fitness a indikátor zda se jedná o kolonii nebo imperialistu.

## 3.5. Imperialist

Struktura *Imperialist* reprezentuje imperialistu, uchovává *Country* reprezentující imperialistu, vektor kolonií a fitness celého impéria.

## 3.6. Statistics

Třída *Statistics* slouží k měření doby běhu výpočtu, rychlosti konvergence a uložení statistik ve formě souboru .csv.

# 4. Výsledky

Algoritmus jsem porovnával na funkcích Sphere a Schwefel na dimenzích 8, 30, 100 a 500 a populaci 7, 15, 25, 40, 60 a 100 . Zastavovací podmínka je u funkce Sphere nastavena na 100 posledních řešení s odchylkou ±10^-9  U funkce Schwefel byla vzhledem k časové náročnosti výpočtů při vyšších dimenzích problému omezena na 10 posledních řešení s odchylkou ±10^-7 (nastavení na 100 řešení s odchylkou ±10^-9 pro dimenzi 500 a populaci 100 dosahovalo u sériové verze čas běhu několik hodin). To se výrazně projevilo na přesností výsledného řešení a výrazně zkrátilo čas běhu programu. Pro testovací účely probíhá u varianty OpenCL výpočet na GPU i v případě nižších dimenzí problému.
Během paralelních výpočtů dosahovala vytíženost CPU 80-90%, u GPU 6-7%.

## 4.1. Systém

- CPU: Intel Core i5-4440 (3.10GHz)
- GPU: NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti
- Mother Board: Gigabyte B85M-HD3
- RAM: 8GB DDR3 1600MHz
- OS: Microsoft Windows 10 Pro

## 4.2. Sphere

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 8 | 7 | 2649 | 1.04184 | 1678 |
| serial | 8 | 15 | 956 | 2.19618 | 1097 |
| serial | 8 | 25 | 4386 | 0.112359 | 8991 |
| serial | 8 | 40 | 5369 | 0.045053 | 17068 |
| serial | 8 | 60 | 5063 | 0.18233 | 24239 |
| serial | 8 | 100 | 5513 | 0.006928 | 43593 |
| smp | 8 | 7 | 1408 | 5.39633 | 503 |
| smp | 8 | 15 | 3925 | 0.256291 | 3044 |
| smp | 8 | 25 | 5864 | 0.098117 | 8669 |
| smp | 8 | 40 | 4803 | 0.060306 | 13455 |
| smp | 8 | 60 | 4371 | 0.067433 | 21824 |
| smp | 8 | 100 | 6065 | 0.007372 | 69113 |
| openCL | 8 | 7 | 524 | 5.36616 | 2054 |
| openCL | 8 | 15 | 1783 | 3.37791 | 14541 |
| openCL | 8 | 25 | 527 | 4.75768 | 7262 |
| openCL | 8 | 40 | 4305 | -0.850658 | 96817 |
| openCL | 8 | 60 | 588 | 1.24624 | 20488 |
| openCL | 8 | 100 | 334 | 0.6096 | 20459 |

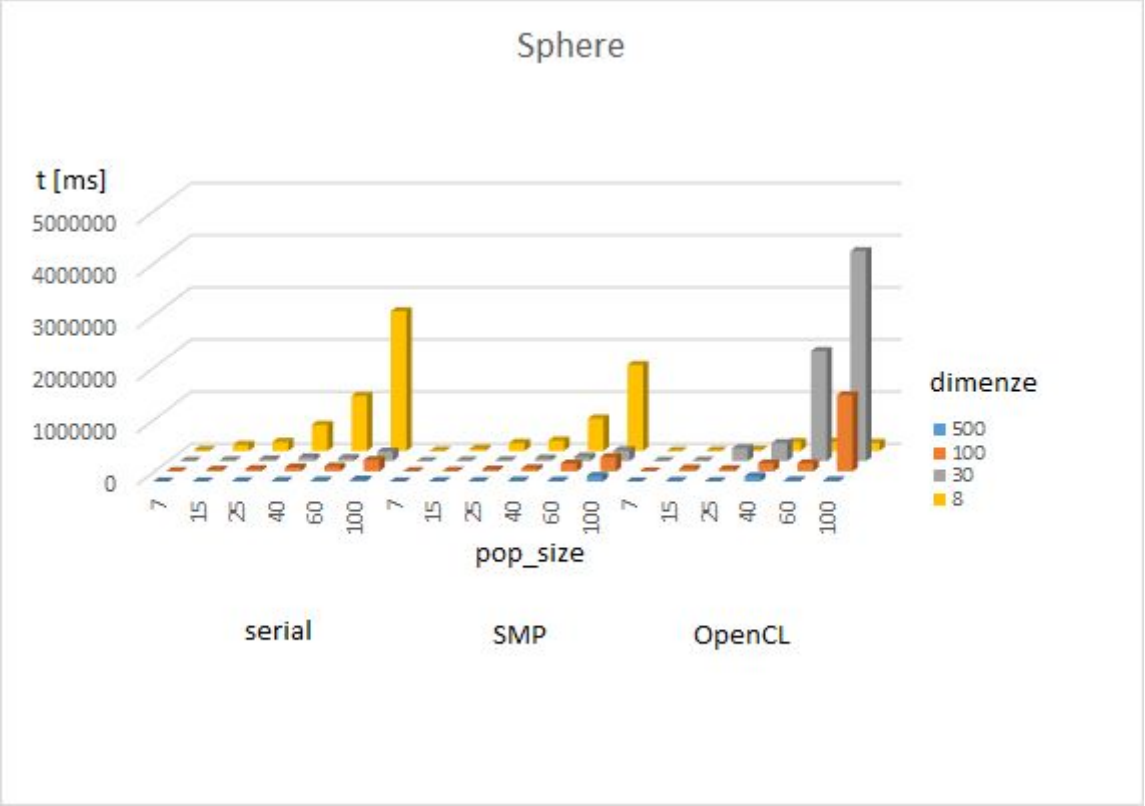
***Sphere**: dimenze 8*

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 30 | 7 | 3027 | 61.4913 | 1919 |
| serial | 30 | 15 | 13855 | 33.2207 | 17128 |
| serial | 30 | 25 | 19505 | 19.1521 | 41314 |
| serial | 30 | 40 | 25075 | 14.8224 | 88165 |
| serial | 30 | 60 | 23779 | 11.60350 | 123650 |
| serial | 30 | 100 | 12860 | 23.2302 | 112705 |
| smp | 30 | 7 | 7037 | 66.6745 | 2600 |
| smp | 30 | 15 | 17488 | 24.0673 | 14113 |
| smp | 30 | 25 | 17916 | 21.4258 | 27453 |
| smp | 30 | 40 | 28950 | 9.43665 | 81510 |
| smp | 30 | 60 | 38033 | 5.48640 | 194342 |
| smp | 30 | 100 | 28856 | 8.86447 | 332060 |
| openCL | 30 | 7 | 325 | 47.216 | 1251 |
| openCL | 30 | 15 | 6346 | 36.7214 | 51367 |
| openCL | 30 | 25 | 3180 | 33.2787 | 43653 |
| openCL | 30 | 40 | 6769 | 33.1512 | 151955 |
| openCL | 30 | 60 | 4441 | 36.746 | 154083 |
| openCL | 30 | 100 | 23893 | 13.6107 | 1459123 |

***Sphere**: dimenze 30*

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 500 | 7 | 8459 | 5309.18 | 14122 |
| serial | 500 | 15 | 30947 | 4186.09 | 116390 |
| serial | 500 | 25 | 26754 | 4160.29 | 172565 |
| serial | 500 | 40 | 47486 | 3660.75 | 502072 |
| serial | 500 | 60 | 65700 | 3420.23 | 1053693 |
| serial | 500 | 100 | 100000 | 3081.72 | 2677175 |
| smp | 500 | 7 | 6445 | 5513.69 | 4813 |
| smp | 500 | 15 | 24649 | 4307.56 | 38419 |
| smp | 500 | 25 | 55981 | 3598.9 | 153110 |
| smp | 500 | 40 | 41892 | 3658.85 | 197613 |
| smp | 500 | 60 | 77917 | 3251.59 | 621658 |
| smp | 500 | 100 | 100000 | 2992.3 | 1649365 |
| openCL | 500 | 7 | 284 | 1092.79 | 1267 |
| openCL | 500 | 15 | 617 | 1075.39 | 6442 |
| openCL | 500 | 25 | 1306 | 1074.39 | 21062 |
| openCL | 500 | 40 | 6448 | 1039.3 | 170846 |
| openCL | 500 | 60 | 4219 | 1044.39 | 172189 |
| openCL | 500 | 100 | 2209 | 1061.57 | 157224 |

***Sphere**: dimenze 500*




*Graf Sphere*

## 4.3. Schwefel

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 8 | 7 | 29 | -1491.4 | 21 |
| serial | 8 | 15 | 69 | -1481.88 | 137 |
| serial | 8 | 25 | 101 | -1652.21 | 258 |
| serial | 8 | 40 | 124 | -1917.18 | 463 |
| serial | 8 | 60 | 134 | -1898.55 | 722 |
| serial | 8 | 100 | 242 | -2305.79 | 1944 |
| smp | 8 | 7 | 59 | -1603.09 | 36 |
| smp | 8 | 15 | 114 | -1534.87 | 95 |
| smp | 8 | 25 | 104 | -2063.96 | 178 |
| smp | 8 | 40 | 250 | -2007.48 | 743 |
| smp | 8 | 60 | 81 | -2144.39 | 442 |
| smp | 8 | 100 | 95 | -1761.29 | 1174 |
| openCL | 8 | 7 | 21 | -1757.31 | 133 |
| openCL | 8 | 15 | 133 | -1735.75 | 1149 |
| openCL | 8 | 25 | 156 | -1912.95 | 2357 |
| openCL | 8 | 40 | 72 | -1511.12 | 1677 |
| openCL | 8 | 60 | 63 | -1645.66 | 2390 |
| openCL | 8 | 100 | 55 | -2174.66 | 3553 |

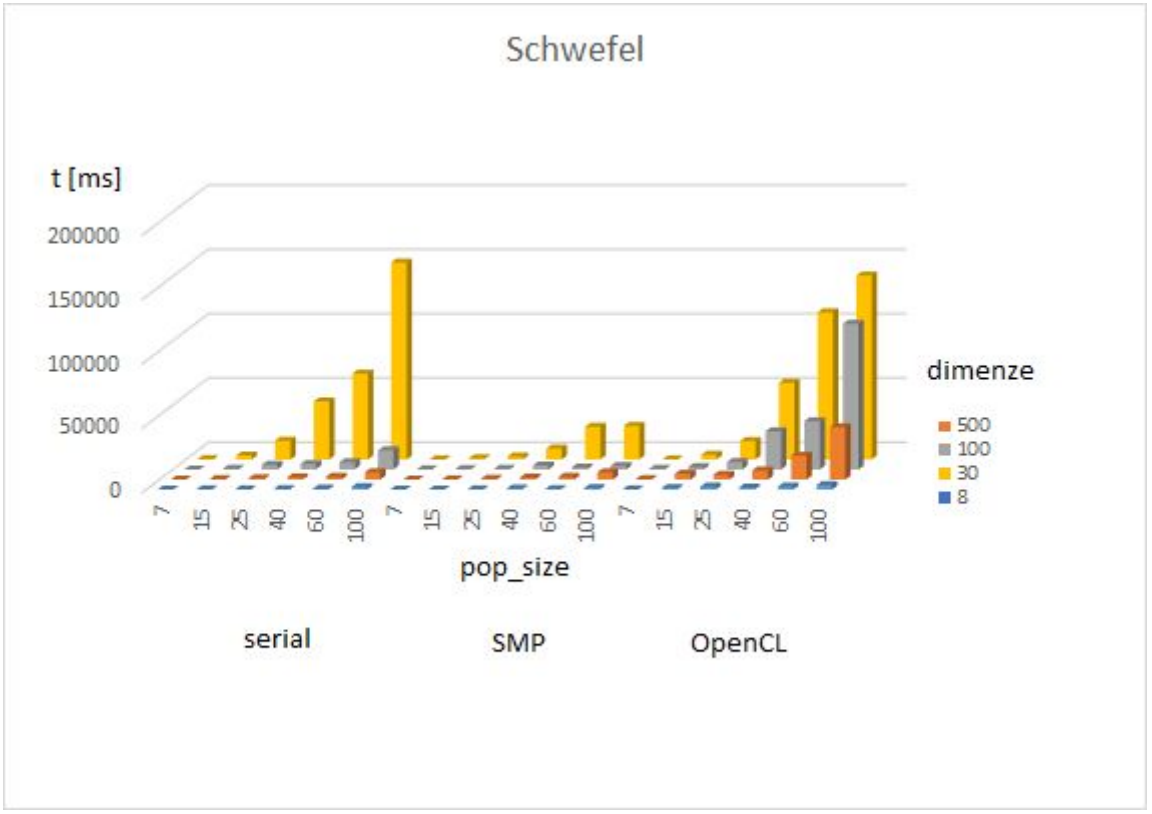
***Schwefel**: dimenze 8*

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 30 | 7 | 42 | -3756.78 | 27 |
| serial | 30 | 15 | 240 | -4602.45 | 464 |
| serial | 30 | 25 | 361 | -4752.12 | 1022 |
| serial | 30 | 40 | 482 | -5970.38 | 1773 |
| serial | 30 | 60 | 402 | -6339.26 | 2185 |
| serial | 30 | 100 | 631 | -5396.22 | 5580 |
| smp | 30 | 7 | 32 | -3420.58 | 27 |
| smp | 30 | 15 | 307 | -4514.78 | 265 |
| smp | 30 | 25 | 299 | -5288.41 | 516 |
| smp | 30 | 40 | 507 | -6281.07 | 1557 |
| smp | 30 | 60 | 406 | -5913.95 | 2158 |
| smp | 30 | 100 | 476 | -6259.47 | 5676 |
| openCL | 30 | 7 | 84 | -3113.74 | 432 |
| openCL | 30 | 15 | 378 | -5292.86 | 4445 |
| openCL | 30 | 25 | 256 | -5393.68 | 3751 |
| openCL | 30 | 40 | 304 | -5188.76 | 7081 |
| openCL | 30 | 60 | 516 | -6712.55 | 18510 |
| openCL | 30 | 100 | 664 | -6371.29 | 40680 |

***Schwefel**: dimenze 30*

| type | problem_size | population_size | generations | fitness | time[ms] |
|---|---|---|---|---|---|
| serial | 500 | 7 | 95 | -16414.9 | 298 |
| serial | 500 | 15 | 683 | -26739 | 2973 |
| serial | 500 | 25 | 2140 | -44142.5 | 14526 |
| serial | 500 | 40 | 4060 | -44588.5 | 44944 |
| serial | 500 | 60 | 3975 | -53725.8 | 66639 |
| serial | 500 | 100 | 5457 | -55261.4 | 152996 |
| smp | 500 | 7 | 170 | -20130.4 | 164 |
| smp | 500 | 15 | 490 | -32193.4 | 891 |
| smp | 500 | 25 | 684 | -32211.5 | 2166 |
| smp | 500 | 40 | 1531 | -39828.2 | 8415 |
| smp | 500 | 60 | 2743 | -50028.2 | 25361 |
| smp | 500 | 100 | 1389 | -45030.1 | 25949 |
| openCL | 500 | 7 | 18 | -8195.47 | 125 |
| openCL | 500 | 15 | 377 | -26401.3 | 3595 |
| openCL | 500 | 25 | 888 | -35216.2 | 14220 |
| openCL | 500 | 40 | 2289 | -42836.7 | 59638 |
| openCL | 500 | 60 | 2829 | -44083.6 | 114319 |
| openCL | 500 | 100 | 2028 | -48373.8 | 142765 |

***Schwefel**: dimenze 500*




*Graf Schwefel*

# 5. Závěr

Algoritmus jako takový jsem se snažil optimalizovat aby byl co nejúčinnější. Během implementace jsem zjistil, že lépe funguje jednodušší implementace algoritmu, než je popsána v původní práci. Ale zároveň si myslím, že existují lepší implementace či rozšíření algoritmu ICA, které jsou popsány v jiných pracech.
Hodně také záleží na počáteční vygenerované populaci. Algoritmus tíhnul ke konvergenci do lokálního minima. Přidáním náhodného členu se konvergence značně zlepšila.
Dle dosažených výsledků mohu konstatovat, že SMP verze algoritmu je vždy rychlejší než sériová. OpenCL verze je oproti sériové verzi pomalejší kvůli vysoké režii pro malé dimenze problému, ale u vyšších dimenzí (500 a výš) dosahuje mírného urychlení nebo je podobná se sériovou verzí. Oproti tomu SMP verze je rychlejší než OpenCL ve všech případech a to hlavně proto, že obě verze využívají stejné paralelní zpracování pohybu a migrace kolonií. OpenCL má navíc zpracování vektorových operací na GPU kdy režie na takové zpracování převyšuje urychlení výpočtu.
Během paralelních výpočtů dosahovala vytíženost CPU 80-90%, což jsou dobré hodnoty. U GPU (kde vytíženost dosahoval pouze 6-7%) je prostor ke zlepšení.