**Programowanie Efektywnych Algorytmów  
Zadanie projektowe 3**

„Implementacja i analiza efektywności algorytmu genetycznego dla problemu Komiwojażera”

Kacper Chrostowski 259120

**Problem Komiwojażera**

Problem optymalizacyjny polegający na znalezieniu w n-wierzchołkowym pełnym grafie takiego cyklu Hamiltona(doliczając do tego powrót do wierzchołka startowego), w którym suma długości ścieżek między wierzchołkami jest jak najmniejsza. Algorytm genetyczny jest heurystyką symulującą faktyczne sposoby ewolucji w środowiskach naturalnych. Kolejno przeprowadzana jest krzyżowanie, mutacja i selekcja nowej populacji.

W omawianym rozwiązaniu zastosowano krzyżowanie OrderCrossover (OX) oraz dwa rodzaje mutacji: Scramble oraz Invert.

**Przebieg algorytmu:**

1)Wygeneruj startową populację składającą się z losowych permutacji rozwiązania tsp

2)Wylosuj dwa chromosomy należące do populacji i porównaj ich długość, zapamiętaj ten w którym trasa jest krótsza jako pierwszego rodzica

3)Powtórz krok 2 i zapamiętaj wynik jako drugiego rodzica

4)Korzystając z krzyżowania wygeneruj parę potomstwa dla wybranych rodziców i zapisz je w wektorze

5)Wróć do punktu 2 i powtarzaj tak długo aż ilość wygenerowanego potomstwa będzie wynosiła rozmiar\_startowej\_populacji \* współczynnik\_krzyżowania.

6)Dla każdego potomka sprawdź prawdopodobieństwo wystąpienia mutacji (określane przez współczynnik mutacji). Jeżeli prawdopodobieństwo na to wskaże, wykonaj odpowiednią mutację na potomku.

7)Połącz ze sobą struktury przechowujących rodziców i dzieci, posortuj populację rosnąco, a następnie usuń nadmiar chromosomów w taki sposób aby struktura miała rozmiar wskazany przez rozmiar startowej populacji

8)Wróć do punktu 2 i powtarzaj dopóki nie minie wskazany czas

9)Najlepsze znalezione rozwiązanie znajduje się w populacji na pierwszym miejscu.

**Plan eksperymentu**

Dla każdego algorytmu przeprowadzono 10 testów. Każdy test trwał 120 sekund oraz co 10 sekund pobierano najlepsze znalezione rozwiązanie. W ten sposób będzie można przeanalizować jak z upływem czasu poprawia się rozwiązanie.

Dla każdego zestawu danych testy powtórzono dla dwóch rodzajów mutacji, oraz dla populacji początkowych liczących 1000, 10000 i 100000 osobników.

Testy przeprowadzone zostały na grafach zapisanych w plikach *br17*, *ft53* oraz *ftv170*. Najlepsze otrzymane wyniki będą porównywane z najlepszymi rozwiązaniami tych problemów rozwiązanych przy pomocy algorytmu TabuSearch z poprzedniego zadania.

**Wyniki eksperymentu**

Simulated Annealing

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Simulated Annealing (17 miast) | | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0s | 10s | 20s | 30s | 40s | 50s | 60s | 70s | 80s | 90s | 100s | 110s | 120s |
| 1 | 136 | 40 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 2 | 227 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 3 | 176 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 4 | 310 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 5 | 279 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 6 | 221 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 7 | 250 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 8 | 114 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 9 | 143 | 40 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 10 | 217 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| Średnia | 207,3 | 39,2 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| Błąd | 432% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Simulated Annealing (53 miasta) | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0s | 10s | 20s | 30s | 40s | 50s | 60s | 70s | 80s | 90s | 100s | 110s | 120s |
| 1 | 25954 | 18937 | 17694 | 12117 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 | 7481 |
| 2 | 27651 | 18180 | 17908 | 13013 | 7758 | 7530 | 7530 | 7530 | 7530 | 7530 | 7530 | 7530 | 7530 |
| 3 | 24807 | 18279 | 17949 | 12658 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 |
| 4 | 26423 | 18088 | 16909 | 12411 | 7527 | 7527 | 7502 | 7502 | 7502 | 7502 | 7502 | 7502 | 7502 |
| 5 | 28070 | 18548 | 17818 | 12505 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 | 7322 |
| 6 | 26746 | 18796 | 18061 | 12902 | 7366 | 7231 | 7231 | 7231 | 7231 | 7231 | 7231 | 7231 | 7231 |
| 7 | 26866 | 18340 | 17589 | 12413 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 | 7560 |
| 8 | 28062 | 18740 | 17900 | 13156 | 7755 | 7410 | 7410 | 7410 | 7410 | 7410 | 7410 | 7410 | 7410 |
| 9 | 23323 | 18705 | 18324 | 13306 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 | 7269 |
| 10 | 25392 | 18702 | 17587 | 13458 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 | 7485 |
| Średnia | 26329,4 | 18531,5 | 17773,9 | 12793,9 | 7505,6 | 7434,8 | 7432,3 | 7432,3 | 7432,3 | 7432,3 | 7432,3 | 7432,3 | 7432,3 |
| Błąd | 281% | 168% | 157% | 85% | 9% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Simulated Annealing (170 miast) | | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1 | 24020 | 26652 | 22298 | 21611 | 21611 | 20476 | 19772 | 16106 | 10464 | 4862 | 3814 | 3814 | 3789 |
| 2 | 25918 | 26298 | 21464 | 21464 | 21464 | 21178 | 19594 | 14488 | 8179 | 4352 | 4060 | 3956 | 3956 |
| 3 | 25179 | 26377 | 22292 | 21864 | 21762 | 21206 | 19182 | 15182 | 8332 | 4532 | 4049 | 4005 | 4005 |
| 4 | 26956 | 26468 | 22274 | 22003 | 21954 | 21398 | 19101 | 15005 | 7645 | 4413 | 3967 | 3967 | 3967 |
| 5 | 26778 | 26334 | 22050 | 21978 | 21353 | 21107 | 19543 | 15039 | 7928 | 4401 | 4244 | 3882 | 3789 |
| 6 | 27025 | 25686 | 22195 | 21948 | 21801 | 21284 | 19310 | 14673 | 8176 | 4205 | 3805 | 3805 | 3805 |
| 7 | 25439 | 26179 | 21958 | 21939 | 21595 | 21391 | 19487 | 14748 | 8045 | 4333 | 4060 | 4060 | 3990 |
| 8 | 26550 | 26622 | 22190 | 22176 | 21850 | 20999 | 19460 | 14885 | 8228 | 4500 | 4026 | 3936 | 3936 |
| 9 | 27102 | 25453 | 21715 | 21715 | 21381 | 21234 | 19620 | 14426 | 8152 | 4455 | 4057 | 4057 | 4012 |
| 10 | 26790 | 25503 | 22129 | 21944 | 21582 | 21374 | 18841 | 14527 | 7551 | 4218 | 4023 | 4023 | 3880 |
| Średnia | 26175,7 | 26157,2 | 22056,5 | 21864,2 | 21635,3 | 21164,7 | 19391 | 14907,9 | 8270 | 4427,1 | 4010,5 | 3950,5 | 3912,9 |
| Błąd | 850% | 849% | 701% | 694% | 685% | 668% | 604% | 441% | 200% | 61% | 46% | 43% | 42% |

Tabu Search

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Tabu Search (17 miast) | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1 | 280 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 2 | 213 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 3 | 218 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| 4 | 264 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 5 | 108 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 6 | 252 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 7 | 214 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 |
| 8 | 259 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 9 | 203 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 10 | 276 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Średnia | 228,7 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 | 45,8 |
| Błąd | 486% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Tabu Search (53 miasta) | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1 | 26441 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 | 10348 |
| 2 | 26713 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 | 10596 |
| 3 | 25900 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 | 11361 |
| 4 | 25028 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 | 10409 |
| 5 | 26452 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 | 10127 |
| 6 | 27111 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 | 10089 |
| 7 | 25825 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 | 10261 |
| 8 | 26627 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 | 11346 |
| 9 | 25144 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 | 11163 |
| 10 | 25788 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 | 10871 |
| Średnia | 26102,9 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 | 10657,1 |
| Błąd | 278% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Tabu Search (170 miast) | | | | | | | | | | | | |
|  | Próbka | | | | | | | | | | | | |
| Nr Testu | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1 | 25 298 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 | 7533 |
| 2 | 26504 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 | 7743 |
| 3 | 26562 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 |
| 4 | 26090 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 | 7710 |
| 5 | 24828 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 | 8364 |
| 6 | 25291 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 | 7894 |
| 7 | 26293 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 | 8927 |
| 8 | 26936 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 | 7372 |
| 9 | 26854 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 | 7122 |
| 10 | 26500 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 | 9255 |
| Średnia | 26115,6 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 | 7868,3 |
| Błąd | 848% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% | 186% |

**Wnioski**

Tabu Search

Algorytm działa poprawnie. Jego wadą natomiast jest bardzo szybkie i łatwe wpadanie w lokalne minimum przez brak dywersyfikacji i alternatywnych ruchów. Przez wspomniane wady w bardzo wczesnym etapie znajdujemy minimum lokalne, w którym trwamy przez większość czasu badania. Dla małych problemów jesteśmy w stanie znaleźć rozwiązania o małym błędzie oraz wraz z czasem trwania badania widać poprawę natomiast jest ona dużo mniejsza w porównaniu z drugim algorytmem. Zmienianie wartości kary nakładnej w liście tabu nie przynosi odnotowalnych zmian. Wraz z przebiegiem algorytmu widoczny jest pojedyncza poprawa. Widać dzięki temu, że algorytm po trafieniu w lokalne minimum nie jest w stanie z niego wyjść.

**Źródła:**

<http://staff.iiar.pwr.wroc.pl/antoni.sterna/>  
<https://www.ii.uni.wroc.pl/~prz/2011lato/ah/opracowania/met_podz_ogr.opr.pdf>