**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.

**Przebieg algorytmu:**

1)Jeżeli limit czasu został przekroczony przerwij działanie, jeżeli nie idź do 2

2)Skopiuj aktualne rozwiązanie i wylosuj dwa miasta znajdujące się na trasie(nie może być to to samo miasto).

3)W kopii zamień miejscami wybrane wcześniej miasta(stwórz rozwiązanie sąsiednie)

4)Jeżeli rozwiązanie przechowywane w sąsiedzie jest lepsze niż aktualne rozwiązanie to sąsiad jest nowym aktualnym. Jeżeli nie to idź do 6

5)Jeżeli rozwiązanie przechowywane w sąsiedzie jest lepsze niż optymalne rozwiązanie to sąsiad jest nowym optymalnym i idź do 7. Jeżeli nie to idź do 6

6)Oblicz prawdopodobieństwo przyjęcia gorszego rozwiązania. Jeżeli pozwoli ono przyjąć gorsze rozwiązanie to sąsiad staje się aktualnym oraz jeżeli jest ono lepsze od optimum to sąsiad staje się optimum.

7) Zmniejsz temperaturę i wróć do 1.

**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.

Testy przeprowadzone zostały na grafach zapisanych w plikach *br17*, *ft53* oraz *ftv170*. Wyniki otrzymane 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>