

# Algorytmy Metaheurystyczne 2023

## Laboratorium 11-13 (na ocenę)

### Termin oddania: 14 laboratorium

Algorytmy populacyjne w przeciwieństwie do algorytmów przeszukiwania lokalnego operują na zbiorze rozwiązań zwanym populacją. Znacząco grupa algorytmów populacyjnych to algorytmy ewolucyjne, a w szczególności algorytmy genetyczne. Wspólną cechą wszystkich algorytmów ewolucyjnych jest mechanizm rozwiązywania problemu inspirowany biologicznym procesem doboru naturalnego i ewolucji. Algorytm genetyczny (z ang. Genetic Algorithm, GA) został zaproponowany przez Hollanda. Inną dużą grupą algorytmów populacyjnych są algorytmy oparte na inteligencji roju (mrówki, pszczoły itp.).

Ogólny schemat działania algorytmu genetycznego jest następujący:

1. Wyznaczenie populacji początkowej
2. Ewaluacja i selekcja
3. Krzyżowanie
4. Mutacja
5. Jeśli nie osiągnięto warunku stopu to wracamy do 2.

---

**Krok 1** Pierwszym krokiem algorytmu GA jest wygenerowanie populacji początkowej. Każdy osobnik z populacji składa się z następujących elementów:

- genotyp – jeden lub więcej chromosomów, a chromosom to ciąg kodowy genów reprezentujący rozwiązanie,
- fenotyp – wartość liczbową odpowiadająca genotypowi, w tym wypadku wartość funkcji celu.

Gen to pojedynczy element (cecha), np. dla TSP jest to wierzchołek do odwiedzenia. Poprzez locus oznacza się pozycję genu w chromosomie. Sposób generowania populacji początkowej ma istotny wpływ na efektywność GA. Zbyt podobna populacja początkowa można prowadzić do przedwczesnej zbieżności algorytmu. Konkretnie osobniki można generować analogicznie jak w przypadku algorytmów lokalnego poszukiwania: losowo lub stosując jakieś heurystyki.

W algorytmach wyspowych istnieje w tym samym czasie kilka odizolowanych od siebie populacji (każda na innej wyspie), a możliwość wymiany informacji między nimi jest możliwa jedynie co kilkanaście lub kilkadziesiąt pokoleń (iteracji). Wybór populacji o zbyt dużym rozmiarze będzie prowadził do znacznego wydłużenia czasu pracy GA.

**Krok 2** Kolejnym krokiem algorytmu jest selekcja (wybór) bieżącej populacji rodziców, która będzie używana w procesie krzyżowania. Jeden (zazwyczaj dobrze przystosowany) osobnik może zostać wybrany kilka razy, a inny słabszy ani razu. W literaturze najczęściej spotyka się następujące rodzaje selekcji:

1. Losowa (jednorodna) – każdy osobnik ma równe szansa bycia wybranym,

2. Ruletka – lepiej przystosowane osobniki mają większą szansę bycia wybranym niż słabsze,
3. Turniej – wybór najlepszego osobnika z pośród  $k$  losowych osobników.

Należy pamiętać, że rozmiar populacji w trakcie czasu pracy algorytmu najczęściej jest stały. Każdą selekcję poprzedza ewaluacja (ocena) populacji.

**Krok 3** Krzyżowanie jest procesem tworzenia osobników potomnych na bazie osobników rodzicielskich tak, by powstałe „dzieci” były częściowo podobne do „rodziców” (jest to po-niekąd odpowiednik sąsiadów w metaheurystykach poszukiwania lokalnego). Najczęściej przyjmuje się model, w którym na wejściu jest para rodziców, a na wyjściu para dzieci, ale nie jest to jedyna możliwość. Generalnie procedurę tworzenia osobników potomnych nazywamy operatorem krzyżowania lub krócej krzyżowaniem. W krzyżowaniu zawsze jest przepisywania część genotypu jednego z rodziców, tzw. fragment dopasowania wyznaczony poprzez punkty podziału. Następnie bazując na informacji genetycznej drugiego rodzica należy wyznaczyć pozostałe geny.

W przypadku niektórych problemów (np. chromosomy binarne) krzyżowanie jest zazwyczaj trywialne. Jednakże dla wielu problemów, w tym dla komiwojażera, osobnik potomny może reprezentować rozwiązanie niedopuszczalne (np. powstały ciąg nie jest permutacją). Dobrze zaprojektowany operator krzyżowania gwarantuje powstanie osobników reprezentujących rozwiązania dopuszczalne. Jeśli tak nie jest, można zastosować dodatkowe procedury naprawcze.

W standardowym modelu drugi potomek powstaje przy założeniu tych samych metod krzyżowania, ale zamieniając rodziców miejscami. Niezależnie od typu krzyżowania powinno się zagwarantować, aby wybrano dwóch różnych rodziców, w celu uniknięcia tworzenia duplikatów danego osobnika.

W niektórych implementacjach po etapie krzyżowania istnieje możliwość powstania większej liczby dzieci niż wielkość populacji. Wtedy nadmiar zostaje odrzucony w trakcie procesu selekcji. Można się spotkać również z dedykowanymi krzyżowaniami wyłącznie dla danego problemu.

**Krok 4** Z pewnym prawdopodobieństwem każdy osobnik może zostać poddany mutacji. Poprzez mutację rozumiane jest zazwyczaj losowe zaburzenie. Celem mutacji jest zwiększenie różnorodności genetycznej oraz dodanie do populacji genów obecnie w niej niereprezentowanych. Przeciwdziała to przedwczesnej zbieżności algorytmu. Prawdopodobieństwo mutacji jest zwykle kilka lub kilkunastokrotnie mniejsze niż prawdopodobieństwo krzyżowania. Mutację najczęściej wykonuje się poprzez wykonanie ruchu znanego z algorytmów lokalnego poszukiwania (zamień, wstaw, odwróć itd.).

W przypadku tzw. algorytmów memetycznych wykonywana jest dodatkowa procedura. Algorytmy te bowiem nie bazują na genach (informacja genetyczna, zależna wyłącznie od genomu rodziców), ale na memach (informacja kulturowa/środowiskowa, zależna od środowiska w którym osobnik „dorasta”). Wspomniana procedura jest więc niejako symulacją „dorastania/uczenia się” osobnika. Typowym sposobem realizacji takiej metody jest zastosowanie metaheurystyki poszukiwania lokalnego (np. TS lub 2-OPT z uciętym czasem trwania) z danym osobnikiem jako rozwiązaniem początkowym. Procedura taka nie powinna jednak działać zbyt długo.

**Krok 5** W algorytmach populacyjnych każdą iterację algorytmu nazywamy pokoleniem. Poza tym możliwe warunki stopu są w zasadzie analogiczne jak przy algorytmach lokalnego poszukiwania (liczba iteracji, brak poprawy, itp).

**Zadanie**

Dla danych z poprzedniej listy zaprojektuj algorytm genetyczny. Opisz krótko w sprawozdaniu metodę generowania populacji początkowej, wybór metody selekcji, wybór metod krzyżowania i mutacji, oraz warunek stopu. Podaj średnie wyniki uzyskane dla 100 wykonan algorytmu dla każdego danych.

**Kryteria oceny**

Wykonanie podstawowego algorytmu i sprawozdania daje ocenę 3.5. Dodatkowe pół oceny można uzyskać za następujące każde z następujących ulepszeń/modyfikacji:

- porównanie co najmniej dwóch różnych metod krzyżowania,
- zastosowanie algorytmu wyspowego,
- zrównoleglenie obliczeń na poziomie programu (współbieżność lub wykorzystanie kart graficznych),
- zastosowanie algorytmów memetycznych.

Dodatkowe pół oceny za zestawienie w sprawozdaniu wyników wszystkich algorytmów zaimplementowanych podczas całego semestru, z podsumowaniem ich skuteczności.