|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| agh_nzw_s_pl_1w_wbr_rgb_150ppi  **NAZWA WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**  Informatyka w sterowaniu i zarządzaniu  Głębokie uczenie i inteligencja obliczeniowa  Grupa 2 (śr 13:30 – 15:45)  *Układanie planu dla szkoły językowej* | | | |
| ***L.p.*** | **Członek** | **Numer albumu** | **Adres e-mail** |
| *1* | Patryk Chorąży | 402569 | pchorazy@student.agh.edu.pl |
| *2* | Rafał Kośla | 400332 | rkosla@student.agh.edu.pl |
| *3* | Artur Mzyk | 400658 | arturmzyk@student.agh.edu.pl |
| *4* | Joanna Nużka | 400561 | [joannanuzka@student.agh.edu.pl](mailto:joannanuzka@student.agh.edu.pl) |
| *5* | Adrian Poniatowski | 401346 | [adrianponiat@student.agh.edu.pl](mailto:adrianponiat@student.agh.edu.pl) |
| *6* | Wojciech Poniewierka | 402224 | wponiewierka@student.agh.edu.pl |

Spis treści

[1. Wstęp 3](#_Toc132747550)

[1.1. Cel projektu 3](#_Toc132747551)

[1.2. Założenia projektu 3](#_Toc132747552)

[2. Badany problem 3](#_Toc132747553)

[2.1. Opis problemu 3](#_Toc132747554)

[2.2. Przyjęte oznaczenia 4](#_Toc132747555)

[2.3. Postać rozwiązania 5](#_Toc132747556)

[2.4. Ograniczenia 5](#_Toc132747557)

[2.5. Funkcja celu 6](#_Toc132747558)

[2.6. Dane wejściowe 6](#_Toc132747559)

[2.7. Przegląd literatury 6](#_Toc132747560)

[3. Propozycja rozwiązania 7](#_Toc132747561)

[3.1. Schemat podstawowego algorytmu 7](#_Toc132747562)

[3.2. Adaptacja algorytmu 7](#_Toc132747563)

[3.2.1. Rozwiązania początkowe 7](#_Toc132747564)

[3.2.2. Selekcja 8](#_Toc132747565)

[3.2.3. Krzyżowanie 8](#_Toc132747566)

[3.2.4. Mutacja 8](#_Toc132747567)

[4. Aplikacja 9](#_Toc132747568)

[5. Eksperymenty 10](#_Toc132747569)

[6. Podsumowanie/wnioski 11](#_Toc132747570)

[7. Spis literatury 11](#_Toc132747571)

[8. Podział pracy 11](#_Toc132747572)

# Wstęp

## Cel projektu

Celem projektu jest zbudowanie aplikacji, która będzie za pomocą algorytmu genetycznego optymalizowała problem postawiony w tytule pracy, czyli „Układanie planu dla szkoły językowej”. Aplikacja zostanie rozbudowana o interfejs graficzny, który pozwoli na dynamiczną zmianę danych wejściowych oraz parametrów algorytmu. Dobór odpowiednich parametrów jest bardzo ważny z punktu widzenia optymalizacji, gdyż algorytm genetyczny daje jedynie rozwiązania bliskie optymalnemu. Odpowiednie dostrojenie – zazwyczaj w sposób empiryczny – może pozwolić na osiągnięcie znacznie lepszych rozwiązań niż w przypadku ustawienia losowej konfiguracji parametrów.

## Założenia projektu

Dane wejściowe wprowadzane są do aplikacji w postaci plików CSV, zaś parametry ustawiane w interfejsie użytkownika. Uczniowie dzieleni są na grupy w miarę możliwości na tym samym poziomie językowym – poziom ucznia może się różnić od poziomu grupy maksymalnie o jeden. Zakładamy również, że istnieje rozwiązanie problemu dla wprowadzonych danych – szkoła posiada wystarczająco dużo sal i nauczycieli, aby każda grupa uczniów mogła mieć zajęcia w godzinach pracy szkoły.

# Badany problem

## Opis problemu

Rozważanym problemem jest ułożenie harmonogramu zajęć dla szkoły językowej. Jest to zagadnienie często podejmowane w innych pracach, zwłaszcza w kontekście uczelni czy szkół. Celem jest ustawienie lekcji w taki sposób, aby spełnione były wszystkie ograniczenia czasowe i te dotyczące zasobów zarówno ludzkich, jak i przestrzennych, oraz aby wartość przyjętej funkcji celu była jak najniższa. Ustalenie, że dana lekcja odbywa się   
w danym terminie, polega na powiązaniu ze sobą następujących danych:

* przedziałów czasowych formujących zajęcia,
* lektora,
* sali,
* uczniów o odpowiednim poziomie.

Szkoła językowa ma określoną liczbę uczniów, lektorów i sal. Są one niezależne od siebie. Liczba uczniów jest odczytywana z danych wejściowych – z uczniem powiązany jest jego poziom językowy. Liczba lektorów jest odczytywana z danych wejściowych –   
z lektorem są powiązane jego preferowane godziny pracy.

Liczebność grup jest taka sama dla każdej z nich i pobierana jest z pliku zawierającego informacje o szkole. W tym samym pliku określona jest też liczba sal oraz godziny pracy szkoły. Liczba grup zależy od liczby przedziałów czasowych, w których jest otwarta szkoła, oraz od dostępności lektorów i sal.

Każdy uczeń i każda grupa mają określony poziom języka: 1, 2 lub 3. Do danej grupy mogą zostać zapisani uczniowie, których poziom różni się co najwyżej o 1 od poziomu tejże grupy. Za przypisanie ucznia do nieodpowiedniego poziomu jest przewidziana kara w funkcji celu. Kara w przypadku prawidłowego przypisania wynosi 0.

Dany uczeń może mieć tylko jedne zajęcia w ciągu tygodnia.

Dany lektor może uczyć dowolną grupę, gdyż jako wykształcony lingwistycznie człowiek zna doskonale język i poziom nie jest dla niego problemem.

Czas, w którym szkoła jest otwarta, jest podzielony na przedziały 15-minutowe. Pozwala to na elastyczne rozłożenie czasu zajęć i nie wymusza rozpoczynania ich o pełnej godzinie zegarowej. Przykładowo, jeśli zajęcia trwają godzinę, to zajmują one 4 takie przedziały. Długość – liczba przedziałów czasowych, które zajmują dane zajęcia – jest pobierana z pliku konfiguracyjnego zawierającego dane szkoły.

Dany lektor ma swoje preferowane godziny pracy. Funkcja celu uwzględnia karę za pracę lektora poza jego preferowanymi godzinami. Lektor nie potrzebuje przerwy pomiędzy zajęciami, gdyż czas funkcjonowania szkoły nie jest długi. Brak przerw nie powinien mocno wpływać na wydajność lektora.

Celem jest minimalizacja czasu spędzonego przez lektora w szkole językowej.

## Przyjęte oznaczenia

Zbudowano model problemu i zastosowano w nim następujące oznaczenia:

– rozwiązanie,

– liczba przedziałów czasowych (ang. *time slots*) na przestrzeni tygodnia, ,

– indeks przedziału czasowego, ,

– długość trwania zajęć (ang. *duration*), ,

– liczba lektorów (ang. *lectors*), ,

– liczba sal (ang. *rooms*), ,

– liczba zajęć (ang. *classes*) w przedziale czasowym , ,

– indeks zajęć w przedziale czasowym , ,

– indeks lektora powiązanego z przedziałem czasowym i zajęciami , ,

– indeks sali powiązanej z przedziałem czasowym i zajęciami , ,

– indeks lektora, ,

– zbiór bloków (ang. *blocks*), w których zajęcia prowadzi lektor ,

– zbiór tzw. okienek (ang. *windows*) lektora ,

– zbiór preferowanych (ang. *prefered*) przedziałów czasowych lektora ,

– zbiór bloków (ang. *blocks*), które są prowadzone w sali ,

– zbiór tzw. okienek (ang. *windows*) sali ,

– liczba grup (ang. *groups*), ,

– maksymalny rozmiar grupy (ang. *maximal group size*), ,

– liczba uczniów, ,

– liczba uczniów o znajomości (ang. *knowledge*) języka na poziomie 1, ,

– liczba uczniów o znajomości (ang. *knowledge*) języka na poziomie 2, ,

– liczba uczniów o znajomości (ang. *knowledge*) języka na poziomie 3, ,

– współczynnik kary za liczbę przedziałów czasowych przepracowanych przez lektora poza jego preferowanymi godzinami pracy, ,

– współczynnik kary za liczbę przedziałów czasowych będących tzw. okienkiem dla lektora, ,

– współczynnik kary za nieprawidłowe przypisanie ucznia do grupy językowej, .

## Postać rozwiązania

Z matematycznego punktu widzenia postać rozwiązania to wektor o stałej długości . Jego elementami są wektory o zmiennej długości . Z kolei ich elementami są piątki uporządkowane w postaci .

Z programistycznego punktu widzenia postać rozwiązania to -elementowa lista  
-elementowych list krotek 5-elementowych.

## Ograniczenia

Liczba grup jest ograniczona przez liczbę uczniów i maksymalny rozmiar grupy :

.

Do danej grupy mogą zostać przypisani tylko uczniowie, których poziom różni się co najwyżej o 1 od poziomu tejże grupy:

Dana grupa musi mieć zajęcia w sąsiednich przedziałach czasowych, które formują razem blok zajęciowy, co jest intuicyjne:

gdzie

Dany uczeń może mieć zajęcia tylko raz w ciągu tygodnia:

Lektor może prowadzić tylko jedne zajęcia w tym samym czasie:

W jednej sali mogą się odbywać tylko jedne zajęcia w tym samym czasie:

## Funkcja przystosowania

Funkcja przystosowania uwzględnia trzy elementy: liczba slotów nauczyciela poza jego preferowanymi godzinami pracy, liczba okienek podczas pracy szkoły oraz liczba uczniów przypisanych do grupy na złym poziomie językowym. Jest ona opisana następującym równaniem:

## Dane wejściowe

Danymi wejściowymi są:

* lista uczniów wraz z przypisanym poziomem,
* lista nauczycieli wraz z preferowanymi godzinami pracy,
* lista sal lekcyjnych,
* godziny pracy szkoły,
* parametry funkcji celu: wagi poszczególnych elementów,
* parametry algorytmu genetycznego: wybrany sposób selekcji, krzyżowania i mutacji, prawdopodobieństwa krzyżowania i mutacji, rozmiar populacji oraz maksymalna liczba iteracji.

## Przegląd literatury

Algorytm genetyczny dzięki swojej uniwersalności może być stosowany do różnych, często bardzo złożonych problemów. Był on między innymi wykorzystywany do układania różnorodnych planów, np. zajęć na studiach. Budhi i in. [1] w swojej pracy zaproponowali wykorzystanie algorytmu genetycznego właśnie do tego probemu. Autorzy uzyskali poprawne rezultaty w dość krótkim czasie. Przeprowadzili również ankiety satysfakcji wśród studentów, które potwierdziły optymalność otrzymanych planów zajęć.

Aby uzyskać jeszcze lepsze rozwiązania, algorytm genetyczny może być zastosowany wraz z inną metodą. W [2] zastosowano dodatkowo algorytm przeszukiwania lokalnego, który był wywoływany na rozwiązaniach przed rozpoczęciem kolejnej iteracji algorytmu genetycznego. Pozwalał on na uzyskanie jeszcze lepszych planów dzięki dokładniejszemu przeszukaniu przestrzeni rozwiązań i redukcji łamania miękkich ograniczeń.

Algorytm genetyczny składa się z wielu operacji krzyżowania i mutacji różnych rozwiązań, które mogą być wykonywane w sposób równoległy. Zostało to wykorzystane w [3] i pozwoliło w znaczący sposób skrócić czas obliczeń.

# Propozycja rozwiązania

## 3.1. Schemat podstawowego algorytmu

Wykorzystany w projekcie algorytm to algorytm genetyczny. Pozwala on na dążenie do lokalnego ekstremum, ale dalej możliwa jest większa eksploracja przestrzeni możliwych wyników w celu poszukiwania lepszych rozwiązań. Schemat jego działania można opisać   
w kilku krokach:

1. Utworzenie populacji początkowej – zbiór losowych rozwiązań problemu.
2. Obliczenie dopasowania każdego osobnika w populacji, np. poprzez obliczenie wartości funkcji celu.
3. Selekcja osobników do tworzenia kolejnej generacji – im wyższa wartość dopasowania, tym większa szansa na wybranie danego rozwiązania.
4. Krzyżowanie – wybrane osobniki tworzą nowe poprzez wymianę części swoich genów.
5. Mutacja – losowa zmiana niektórych genów, by dać szansę na rozwinięcie się nowych, korzystnych cech w populacji.
6. Jeżeli nie osiągnięto zadowalających rezultatów i nie wystąpiło kryterium stopu – powrót do kroku 2.

## 3.2. Adaptacja algorytmu

### 3.2.1. Rozwiązania początkowe

Pierwszym krokiem w generacji rozwiązań początkowych jest podział studentów na grupy o tym samym poziomie. Tworzone grupy mają w miarę możliwości maksymalną dopuszczalną liczbę studentów. Jeśli nie jest to możliwe, to na każdym poziomie tworzona jest maksymalnie jedna niepełna grupa.

Następnie wywoływana jest funkcja łącząca dwie grupy studentów różniące się poziomem o jeden. Mogą one zostać połączone tylko jeśli suma studentów, którzy do nich należą nie przekracza maksymalnej dopuszczalnej. Grupy są łączone z pewnym prawdopodobieństwem, które może być zmieniane przez użytkownika.

Dla każdej z grup losowany jest jeden z dopuszczalnych slotów początkowych, lektor i sala. Rezerwowana również jest odpowiednia liczba kolejnych slotów, aby utworzyć pełne zajęcia. Jako rozwiązanie zwracany jest słownik, w którym każdemu slotowi przyporządkowana jest lista grup (wraz z informacją o nauczycielu i sali) mających wtedy zajęcia.

### 3.2.2. Selekcja

Selekcje pozwalają na wybór odpowiednich osobników przy tworzeniu kolejnej populacji. Im lepsza wartość dopasowania danego rozwiązania, tym większą ma on szansę na wybranie. Zastosowano 3 podejścia przy problemie selekcji.

**Selekcja best**

W tym przypadku wybranymi do rozmnażania osobnikami są zawsze dwa najlepsze rozwiązania. Sposób ten jest eksperymentalny, ponieważ mocno ogranicza możliwość eksploracji przestrzeni rozwiązań.

**Selekcja ruletkowa**

Selekcja ruletkowa jest jedną z częściej używanych metod selekcji. W tym algorytmie im większa wartość dopasowania rozwiązania, tym większa szansa na wybranie go do reprodukcji. Co ważne w naszym przypadku algorytm ma minimalizować wartości funkcji celu, więc należy wprowadzić zmianę: zamiast liczyć wartość funkcji dopasowania, liczymy jej odwrotność. W ten sposób im mniejsza wartość dopasowania, tym większa szansa na wylosowanie. Algorytm selekcji ruletkowej można przedstawić za pomocą pseudokodu:

def rulette\_selection(population):

inverted\_fitnesses = [1/fitness(solution) for solution in population]

random\_point = random\_uniform(min=0, max=sum(inverted\_fitnesses))

chosen\_solution = 0

partial\_sum = inverted\_fitnesses[0]

while partial\_sum < random\_point:

chosen\_soluion = chosen\_solution + 1

partial\_sum += inverted\_fitnesses[chosen\_solution]

return chosen\_solution

W tym przypadku funkcja zwróci nam jedno wybrane rozwiązanie z podanej   
w argumencie listy. Aby dostać dwa rozwiązania musimy wywołać taką funkcję dwa razy, gdzie za drugim razem podajemy listę bez wylosowanego wcześniej osobnika, by uniknąć wylosowania dwa razy tego samego rozwiązania.

**Selekcja turniejowa**

Selekcja turniejowa jest popularną metodą, ze względu na swoja prostotę   
i skuteczność. Algorytm polega na wybraniu *n* osobników z populacji, a następnie spośród nich wybraniu osobnika z najlepszą wartością dopasowania. Z racji minimalizacji funkcji celu, dla nas najlepszą wartością jest wartość minimalna. Osobniki wybierane do „turnieju” są losowane z takim samym prawdopodobieństwem. Warto dodać, że metoda ta przyjmuje jeden parametr: *n*, a w naszym problemie, po kilku testach przyjęliśmy, że wartość ta będzie wynosić 3.

### 3.2.3. Krzyżowanie

Krzyżowanie to operacja opisana w następujący sposób:

,

gdzie to przestrzeń rozwiązań.

Zatem w wyniku krzyżowania dwóch rozwiązań otrzymuje się rozwiązania  
potomne .

Zaimplementowano dwie metody krzyżowań:

* przez wymianę bloków zajęciowych z całego dnia
* przez wymianę pojedynczego bloku zajęciowego.

**Wymiana zajęć dla całego dnia**

W krzyżowaniu przez wymianę bloków zajęciowych z całego dnia najpierw losowany jest jeden dzień z pierwszego rozwiązania i jeden dzień – niekoniecznie ten  
sam – z drugiego rozwiązania. Następnie bloki zajęciowe z dni niewylosowanych są przepisywane w czystej postaci do rozwiązań potomnych. Potem bloki zajęciowe  
z wylosowanego dnia z rozwiązania pierwszego są przepisywane do wylosowanego  
dnia w drugim rozwiązaniu potomnym – analogicznie w drugą stronę. Podmieniana jest jednak tylko jednakowa liczba grup, czyli , gdzie – liczba grup  
w wylosowanym dniu w rozwiązaniu pierwszym, – liczba grup w wylosowanym  
dniu w rozwiązaniu drugim. Pozostałe grup jest sztucznie generowanych tak, aby zachować liczbę studentów na odpowiednich poziomach.

Krzyżowanie przez wymianę bloków zajęciowych z całego dnia składa się z następujących kroków:

1. Wylosowanie dnia z pierwszego rozwiązania i dnia z drugiego rozwiązania.
2. Przepisanie bloków zajęciowych z niewylosowanych dni w czystej postaci do rozwiązań potomnych.
3. Wyznaczenie liczby grup do przeniesienia z każdego rozwiązania.
4. Podmienienie grup.
5. Jeśli – sztuczne wygenerowanie grup  
   w celu zachowania liczby studentów i poziomów w grupach.

Na *Rys. 1.* widoczne są dwa przykładowe rozwiązania przed krzyżowaniem. Kolorem pomarańczowym oznaczone są bloki zajęciowe dla pierwszego rozwiązania, natomiast zielonym – dla drugiego. Kolorem niebieskim oznaczone są bloki zajęciowe z wylosowanych dni i .

Obraz zawierający tekst, krzyżówka

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 1. Dwa przykładowe rozwiązania przed krzyżowaniem

Na *Rys. 2.* widoczne są dwa przykładowe rozwiązania po krzyżowaniu. Kolorem pomarańczowym oznaczone są bloki zajęciowe dla pierwszego rozwiązania potomnego, natomiast zielonym – dla drugiego. Kolorem fioletowym oznaczone są bloki zajęciowe  
z wylosowanych dni i , które zostały podmienione. Kolorem czerwonym oznaczone są bloki zajęciowe, które zostały sztucznie wygenerowane.

Obraz zawierający wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 2. Dwa przykładowe rozwiązania po krzyżowaniu przez wymianę bloków zajęciowych z całego dnia

**Wymiana pojedynczego bloku zajęć**

W krzyżowaniu przez wymianę pojedynczego bloku zajęciowego najpierw losowany jest jeden blok zajęciowy z pierwszego rozwiązania i jeden blok zajęciowy z drugiego rozwiązania. Następnie wylosowany blok zajęciowy jest przepisywany do drugiego rozwiązania potomnego w to samo miejsce, które zajmował w rozwiązaniu pierwszym. Pozostałe grupy są przepisywane w czystej postaci. Jeśli zamiana wywołała kolizję, to kolidujące grupy są usuwane, a w ich miejsce są sztucznie generowane grupy tak, aby zachować liczbę studentów na odpowiednich poziomach. Analogicznie w drugą stronę.

Krzyżowanie przez wymianę pojedynczego bloku zajęciowego składa się z następujących kroków:

1. Wylosowanie bloku zajęciowego z pierwszego rozwiązania i bloku zajęciowego z drugiego rozwiązania.
2. Przepisanie bloku zajęciowego do drugiego rozwiązania potomnego w to samo miejsce, które zajmował w pierwszym rozwiązaniu.
3. Przepisanie bloku zajęciowego do pierwszego rozwiązania potomnego w to samo miejsce, które zajmował w drugim rozwiązaniu.
4. Usunięcie grup, który powodowałyby kolizję w związku z podmianą grup.
5. Przepisanie pozostałych grup w czystej postaci do rozwiązań potomnych.
6. Jeśli jakieś grupy zostały usunięte w wyniku kolizji - sztuczne wygenerowanie grup w celu zachowania liczby studentów i poziomów w grupach.

Na *Rys. 3.* widoczne są dwa przykładowe rozwiązania przed krzyżowaniem. Kolorem pomarańczowym oznaczone są bloki zajęciowe dla pierwszego rozwiązania, natomiast zielonym – dla drugiego. Kolorem fioletowym oznaczone są wylosowane bloki zajęciowe i . Kolorem niebieskim oznaczone są bloki zajęciowe kolidujące z bądź .

Obraz zawierający wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 3. Dwa przykładowe rozwiązania przed krzyżowaniem

Na *Rys. 4.* widoczne są dwa przykładowe rozwiązania po krzyżowaniu. Kolorem pomarańczowym oznaczone są bloki zajęciowe dla pierwszego rozwiązania, natomiast zielonym – dla drugiego. Kolorem fioletowym oznaczone są wylosowane bloki zajęciowe i . Kolorem czerwonym oznaczone są bloki zajęciowe, które zostały sztucznie wygenerowane.

Obraz zawierający wykres

Opis wygenerowany automatycznie

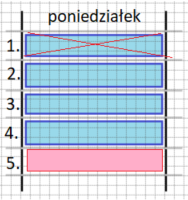
Rys. 4. Dwa przykładowe rozwiązania po krzyżowaniu przez wymianę pojedynczego bloku zajęciowego

### 3.2.4. Mutacja

Zaimplementowano dwie metody mutacji: przez przesunięcie grupy o jeden slot oraz przez zmianę nauczyciela dla jednej grupy.

**Przesunięcie grupy**

W mutacji przez przesunięcie grupy o jeden slot najpierw losowana jest jedna z grup. Następnie sprawdzana jest możliwość jej przesunięcia – czy przypisani do niej nauczyciel   
i sala są wolni w poprzednim lub następnym slocie oraz czy slot ten mieści się w godzinach pracy szkoły. Jeśli przesunięcie nie jest możliwe, losowana jest kolejna grupa. Jeśli istnieje możliwość jego dokonania, losowany jest kierunek ze zbioru możliwych (w górę lub w dół). W zależności od wylosowanego kierunku do słownika będącego rozwiązaniem grupa jest dodawana do slotu, który poprzedza jej pierwszy lub znajduje się za ostatnim oraz usuwana   
z ostatniego lub pierwszego slotu. Zostało to przedstawione na rys. 5, gdzie na niebiesko zaznaczono bazowe sloty grupy, zaś na czerwono zmiany wprowadzone podczas mutacji.



Rys. 5. Mutacja przez przesunięcie

Mutacja przez przesunięcie grupy o jeden slot składa się z następujących kroków:

1. Wylosowanie grupy do przesunięcia.
2. Sprawdzenie, czy istnieje możliwość przesunięcia grupy (nauczyciel i sala są wolni w poprzednim lub następnym slocie).
3. Jeśli nie – wylosowanie innej grupy (krok 1).
4. Jeśli tak – wylosowanie jednego z możliwych kierunków przesunięcia grupy (w górę lub w dół).
5. Przesunięcie grupy:
   1. dodanie grupy do slotu znajdującego się przed pierwszym lub za ostatnim slotem grupy, zgodnie z wylosowanym kierunkiem;
   2. usunięcie grupy z jej pierwszego lub ostatniego slotu.

**Przez zmianę nauczyciela**

W mutacji poprzez zmianę nauczyciela losowana jest jedna z grup należących do rozwiązania. Następnie sprawdzane jest, czy w godzinach jej zajęć dostępni są inni nauczyciele. Jeśli tak, losowany jest jeden z nich i następuje zmiana lektora dla tej grupy. Jeśli nie, losowana jest inna grupa.

Mutacja przez zmianę nauczyciela składa się z następujących kroków:

1. Wylosowanie grupy.
2. Sprawdzenie, czy istnieje możliwość zmiany nauczyciela w grupie – czy któryś z nauczycieli jest wolny w godzinach zajęć grupy.
3. Jeśli nie – wylosowanie innej grupy (krok 1).
4. Jeśli tak – zmiana nauczyciela:
   1. wylosowanie jednego z dostępnych nauczycieli;
   2. zmiana nauczyciela przypisanego do grupy na wylosowanego.

## 3.3. Pseudokod

Poniżej znajduje się pseudokod algorytmu, który zwraca listę najlepszych rozwiązań dla każdej iteracji:

def genetic\_algorithm():

initial\_population = make\_initial\_population()

best\_solutions = []

current\_population = initial\_population

for i from 0 to num\_of\_generations:

best\_solutions.append(get\_best\_solution(current\_population))

new\_population = []

for j from 0 to size(population) / 2:

selected = selection(current\_population)

crossovered = crossover(selected)

mutated = mutate(crosovered)

new\_population.append(mutated)

current\_population = get\_best\_n\_solutions(current\_population, new\_population)

W powyższym pseudokodzie metoda *get\_best\_solution* wybiera najlepsze rozwiązanie z danej populacji na podstawie wartości funkcji celu. Podobnie działa funkcja *get\_best\_solutions*, lecz wybiera ona *n* najlepszych rozwiązań, gdzie *n* jest rozmiarem populacji.

# 4. Aplikacja

Sama aplikacja składa się z graficznego interfejsu użytkownika, dzięki któremu można wprowadzić dane startowe algorytmu oraz części odpowiedzialne za sam algorytm. Do stworzenia GUI została użyta biblioteka PyQt5, natomiast część algorytmiczna została napisana w czystym Pythonie. Aby uruchomić aplikację wystarczy uruchomić skrypt pythonowy o nazwie main.py, następnie dobrać odpowiednie parametry i kliknąć przycisk Start.

Informacje dotyczące szkoły zapisane są w plikach school\_config.json, students.csv oraz teachers.csv w folderze DataGeneration. Jeśli chcemy zmienić te parametry, należy odpowiednio zmodyfikować zawartość tych plików.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, oprogramowanie, wyświetlacz

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 6. Główne okno programu

Jako rezultat wykonania programu otrzymujemy znalezione najlepsze rozwiązanie – wyrysowany plan zajęć oraz wykres przedstawiający wartość funkcji celu dla najlepszego rozwiązania w kolejnych iteracjach algorytmu.

Obraz zawierający zrzut ekranu, tekst, linia, Prostokąt

Opis wygenerowany automatycznie

Rys.7. Plan zajęć

# Eksperymenty

W celu znalezienia jak najlepszego rozwiązania algorytm został uruchomiony wielokrotnie. W wyniku tych testów zostały otrzymane następujące wartości parametrów:

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, numer

Opis wygenerowany automatycznie

Rys.8. Bazowe wartości parametrów

Do przebadania wpływu poszczególnych zmiennych algorytmu na jego rozwiązanie, zmieniana była wartość konkretnego parametru przy zachowaniu pozostałych z tych przedstawionych na rys. 8.

## 5.1. Wpływ liczby iteracji

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla 20 lub 100 iteracji.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 9. Wyniki uzyskane dla 20 iteracji

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 10. Wyniki uzyskane dla 100 iteracji

W obu przypadkach wartość funkcji celu została poprawiona. Ustawienie większej liczby iteracji daje algorytmowi więcej czasu na znalezienie lepszego rozwiązania, jednak zdarzają się przypadki, gdy kolejna iteracja nie jest w stanie poprawić już wyniku.   
W związku z tym i ze względu na wadę, jaką jest znaczne wydłużenie czasu obliczeń należy rozsądnie dobierać tą wartość. Niemniej jednak zazwyczaj większa liczba iteracji skutecznie przybliża rozwiązanie do optymalnego.

## Wpływ prawdopodobieństwa mutacji

Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla prawdopodobieństw mutacji wynoszących 0,05 i 0,5.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, linia, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 11. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa mutacji = 0,05

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 12. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa mutacji = 0,5

Gdy prawdopodobieństwo mutacji jest mniejsze, mniejsza też jest szansa na opuszczenie minimum lokalnego, co może powodować mniej znaczącą poprawę w stosunku do rozwiązania startowego. Dla większego prawdopodobieństwa widać znaczne wahania wyniku dopasowania. Na ogół lepsze wyniki algorytm zwracał dla większej szansy na mutację.

## Wpływ prawdopodobieństwa krzyżowania

Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla prawdopodobieństw krzyżowania wynoszących 0,2 i 0,8.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 13. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa krzyżowania = 0,2

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 14. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa krzyżowania = 0,8

Jak widać w obu przypadkach prawdopodobieństwa krzyżowania, ani wysokie ani niskie nie gwarantuje znaczącej poprawy rozwiązania. Po kilkukrotnym uruchomieniu algorytmu można stwierdzić, że wyższe prawdopodobieństwo wiążę się z większą skłonnością do eksploracji w celu poszukiwania lepszych rozwiązań.

## Wpływ prawdopodobieństwa połączenia grup

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla prawdopodobieństw połączenia grup wynoszących 0,05 i 0,7.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 15. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa połączenia grup = 0,05

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 16. Wyniki uzyskane dla prawdopodobieństwa połączenia grup = 0,7

Niskie prawdopodobieństwo połączenia grup powoduje ewidentnie gorsze rezultaty   
w porównaniu z wysokim prawdopodobieństwem, ponieważ wymaga uzupełnienia większej ich liczby, a to w naszym przypadku w połączeniu z największą wagą czasu pracy powoduje niższy wynik dopasowania. W sytuacji, gdy wagi zostałyby zmienione, również otrzymane rezultaty różniłyby się od siebie.

## Wpływ wagi ucznia

Na rysunkach 17 i 18 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla wagi ucznia wynoszącej 0,02 i 0,4.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 17. Wyniki uzyskane dla wagi ucznia = 0,02

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 18. Wyniki uzyskane dla wagi ucznia = 0,4

Wyższa waga ucznia zwiększa wpływ kary za przydzielenie ucznia do złej grupy językowej, może więc wpływać na wzrost liczby powstałych grup. To z kolei wpływa negatywnie na wartość pozostałych elementów funkcji celu.

## Wpływa wagi slotu

Na rysunkach 19 i 20 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla wagi slotu wynoszącej 0,05 i 0,5.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 19. Wyniki uzyskane dla wagi slotu = 0,05

Obraz zawierający diagram, tekst, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 20. Wyniki uzyskane dla wagi slotu = 0,5

Wyższa waga slotu wpływa na zmniejszenie liczby czy długości trwania tzw. okienek pomiędzy zajęciami prowadzonymi przez danego nauczyciela. Poprzez ustawienie wyższej wartości tej wagi dążymy do sytuacji, w której nauczyciel nie będzie zmuszony czekać przez pewien czas na kolejne zajęcia.

## Wpływ wagi czasu pracy

Na rysunkach 21 i 22 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla wagi czasu pracy wynoszącej 0,1 i 0,55.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 21. Wyniki uzyskane dla wagi czasu pacy = 0,1

Obraz zawierający diagram, tekst, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 22. Wyniki uzyskane dla wagi czasu pracy = 0,55

Waga czasu pracy ma największy wpływ na naszą funkcję celu, ponieważ decyduje ona o jak najlepszym dopasowaniu planu zajęć do preferowanych godzin pracy nauczycieli. Wyższa wartość tej wagi powoduje narzucenie większej kary za wystąpienie w rozwiązaniu slotów, które znajdują się poza preferowanymi godzinami pracy nauczyciela.

## Wpływ metody selekcji

Na rysunkach 23, 24 i 25 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla każdej z trzech zaimplementowanych przez nas metod selekcji.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 23. Wyniki uzyskane dla selekcji BEST

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 24. Wyniki uzyskane dla selekcji ROULETTE

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 25.Wyniki uzyskane dla selekcji TOURNAMENT

W przypadku testowanego zestawu parametrów, wszystkie metody selekcji pozwalają na uzyskanie podobnych wyników. Najlepiej działa selekcja BEST – pozwala na opuszczenie lokalnych minimów i osiągnięcie najniższej wartości funkcji przystosowania.

## Wpływ metody krzyżowania

Na rysunkach 26 i 27 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla każdej   
z zaimplementowanych przez nas metod krzyżowania.

Obraz zawierający diagram, tekst, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 26. Wyniki uzyskane dla krzyżowania ALL\_DAY

Obraz zawierający diagram, tekst, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 27. Wyniki uzyskane dla krzyżowania SINGLE\_BLOCK

Metoda krzyżowania ALL\_DAY w większości przypadków daje o wiele lepsze wyniki niż metoda SINGLE\_BLOCK. Wynika z tego, że o wiele lepiej jest krzyżować ze sobą całe dni, a nie jedynie pojedyncze bloki.

## Wpływ metody mutacji

Na rysunkach 28 i 29 przedstawiono wyniki uzyskane przez algorytm dla każdej   
z zaimplementowanych przez nas metod mutacji.

Obraz zawierający diagram, tekst, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys. 28. Wyniki uzyskane dla mutacji SHIFT

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

Rys.29. Wyniki uzyskane dla mutacji CHANGE\_TEACHER

Skuteczność obu metod mutacji zależy w dużej mierze od aktualnie rozpatrywanego przypadku oraz wygenerowanej populacji początkowej.

# Podsumowanie/wnioski

Ułożenie planu zajęć dla szkoły językowej okazało się dość wymagającym zadaniem głównie ze względu na dopuszczalność rozwiązań dla algorytmu genetycznego. Wymagało to wnikliwego przemyślenia problemu oraz poszczególnych części algorytmu. Szczególnie trudne okazało się zaimplementowanie metod krzyżowania tak, by łącząc oba rozwiązania zachować wszystkie istniejące grupy studentów oraz wszystkie warunki dopuszczalności. Wymagały one dodania pewnych elementów poprawiających dopuszczalność rozwiązań. Rozwijając ten projekt istnieje szansa na możliwość wykorzystania takiego podejścia do problemu w rzeczywistym przypadku.

**Wnioski odnośnie parametrów algorytmu**

Algorytm genetyczny okazał się skutecznym narzędziem do uzyskania rozwiązania zbliżonego optymalnego. Dla większości zestawów parametrów funkcja przystosowania była skutecznie optymalizowana, a niektóre zestawy były również odporne na występowanie lokalnych ekstremów.

Wnioski co do wpływu liczby iteracji na jakość rozwiązania są takie same jak dla innych problemów rozwiązanych z wykorzystaniem algorytmu genetycznego – większa liczba iteracji zazwyczaj poprawia rozwiązanie, ale wiąże się to z większą złożonością.

Zastosowanie większych prawdopodobieństw operacji krzyżowania i mutacji pozwala na zwiększenie szansy na opuszczenie lokalnych ekstremów – pozwala na lepszą eksplorację przestrzeni rozwiązań.

Większe prawdopodobieństwo na połączenie grup pozwalało na zastosowanie mniejszej liczby grup i znacznie poprawiało rozwiązanie.

W kontekście współczynników kary w funkcji przystosowania największe znaczenie miała waga czasu pracy, która znacznie pogarszała wartość funkcji przystosowania  
w przypadku przypisania lektora do godzin, które mu nie odpowiadają.

Wszystkie metody selekcji dały zadowalające rezultaty i żadna z nich nie wyróżniła się.

Metoda krzyżowania polegająca na wymianie całego dnia przyniosła znacząco lepsze rezultaty niż metoda polegająca na wymianie pojedynczego bloku zajęciowego, gdyż pozwoliła na dobrą eksplorację przestrzeni rozwiązań i nie zmieniała znacząco rozwiązań poprzez usuwanie kolidujących grup.

Metoda mutacji polegająca na zmianie nauczyciela grupy pozwoliła na uzyskanie lepszych rozwiązań niż metoda polegająca na przesunięciu grupy, gdyż przesunięcie grupy  
o jeden blok 15-minutowy nie wpływa zazwyczaj na funkcję przystosowania – nauczyciele mają swoje preferowane godziny zazwyczaj ułożone w zwartych blokach.

**Kroki dalszego rozwoju**

Rozwinięciem projektu mogłoby być:

* rozszerzenie modelu matematycznego problemu o elastyczną długość zajęć – kilka predefiniowanych długości,
* rozszerzenie algorytmu o kolejne metody selekcji, krzyżowania i mutacji oraz dodanie parametrów metod zamiast ustawionych na stałe wartości,
* ułożenie planu dla grup mających zajęcia więcej niż jeden raz w tygodniu,
* dodanie większej liczby poziomów studentów (aktualnie są tylko 3),
* uwzględnienie preferencji studentów odnośnie terminów zajęć.

# Spis literatury

[1] Budhi, G. S., Gunadi, K., & Wibowo, D. A. (2015). Genetic Algorithm for Scheduling Courses. In Intelligence in the Era of Big Data: 4th International Conference on Soft Computing, Intelligent Systems, and Information Technology, ICSIIT 2015, Bali, Indonesia, March 11-14, 2015. Proceedings 4 (pp. 51-63). Springer Berlin Heidelberg.

[2] Abdullah, S., & Turabieh, H. (2008, November). Generating university course timetable using genetic algorithms and local search. In 2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology (Vol. 1, pp. 254-260). IEEE.

[3] Abdullah, S., & Turabieh, H. (2008, November). Generating university course timetable using genetic algorithms and local search. In 2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology (Vol. 1, pp. 254-260). IEEE.

# Podział pracy

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, numer, Czcionka

Opis wygenerowany automatycznie