

Model ewolucyjny w oparciu o Geometryczny Model Fishera (GMF)

Opisanie ewolucji populacji w zmiennym środowisku.

Zakładamy, że optymalny genotyp w środowisku zmienia się w każdym kroku czasowym w stopniu niewielkim, oraz raz na jakiś czas może zdarzyć się duża zmiana optimum. Wszystkie zmiany są opisane parametrami, które trzeba podać do modelu.

Zakładamy, że osobniki mogą mutować oraz umierać po osiągnięciu wieku 6 kroków czasowych.

Zakładamy, że osobniki w populacji mają 2 płcie i rozmnażają się płciowo. Ponadto, jedna z płci wybiera drugą do reprodukcji w sposób nielosowy w zależności od cech genotypu. Preferencja płci może iść w innym kierunku, niż zmiana środowiska, co w konsekwencji doprowadzi do dynamicznej równowagi pomiędzy dwoma czynnikami.

Założenia programistyczne naszego modelu

Przyjęliśmy model obiektowy o dwóch klasach : Środowisko i Osobnik.

Klasa **Środowisko** zawiera 3 atrybuty:

- **populacja** – Zawiera listę osobników w danym środowisku;
- **optimum** – Przechowuje aktualny optymalny genotyp w danym środowisku;
- **max_pop** – Maksymalna liczba osobników, których może zmieścić środowisko, opisana parametrem `max_population`.

Oraz następujące metody:

- `get_optimum()` - zwraca aktualny optimum;
- `zainicjuj_populacje()` - tworzy osobników zgodnie z parametrem `init_population`;
- `zainicjuj_opt()` - wybiera optymalny genotyp z rozkładu jednostajnego;
- `zmiana_srodowiska()` - zmienia optymalny genotyp dodając do każdej współrzędnej genotypu parametr `c` zgodnie z modelem globalnego ocieplania;
- `oblicz_fitness()` - przyjmuje cechy genotypu osobnika i oblicza dla niego wartość fitness dla aktualnego optimum;
- `katastrofa()` - usuwa losowe 50% osobników z populacji i zmienia optimum w sposób losowy w skali mniejszej równej trzem krokom globalnego ocieplania.

Klasa **Osobnik** zawiera takie atrybuty:

- **wiek** – liczba kroków czasowych, które przetrwał osobnik;
- **cechy_genotypu** – przechowuje aktualne cechy genotypu długości parametru `num_genes`;
- **płeć** - płeć osobnika, 0 lub 1;
- **repr** - sposób reprodukcji, 'płciowe' lub 'klonowanie'.

I takie metody:

- `losuj_genotyp()` - wybiera losowo z rozkładu jednostajnego od 0 do 1 na każde miejsce cechy genotypu;
- `mutacja()` - wybiera losowe miejsce w genotypie i zmienia wartość zgodnie z przyjętymi parametrami modelu;
- `reprodukuje()` - przyjmuje genotyp innego osobnika i zwraca nowy obiekt Osobnik o cechach genotypu, gdzie 50% cech genotypu pochodzi od osobnika, na którym wywołuje się metodę, a resztę od osobnika podanego jako parametr;
- `losuj_płeć()` - zwraca losowo 0 lub 1.

W pliku **fisher_model_simulation.py** znajduje się główna pętla czasowa, która obsługuje inicjację modelu oraz kilka kroków:

- Dla każdego osobnika w obecnej populacji:
 - Przeprowadź mutację,
 - Oblicz fitness,
 - Przeprowadź selekcję,
 - Przeprowadź reprodukcję jeśli liczba obecnych osobników i urodzonych w tym kroku nie jest większa od wartości parametru `max_population`;
- Dla Środowiska: w zależności od podanych parametrów zmień aktualne optimum;
- Zapisz informację o populacji oraz optimum w historii populacji.

W pliku **streamlit_app.py** jest opisana aplikacja do interaktywnego korzystania z modelu. Ona zawiera miejsce do przestania pliku z parametrami, a przycisk 'Start simulation' zaczyna obliczenia z wyświetlaniem animacji genotypów oraz wykresu liczby osobników w populacji od czasu.

Żeby skorzystać z modelu trzeba wpisać podany niżej tekst w terminalu:

streamlit run streamlit_app.py

Odpowiedzi na pytania badawcze:

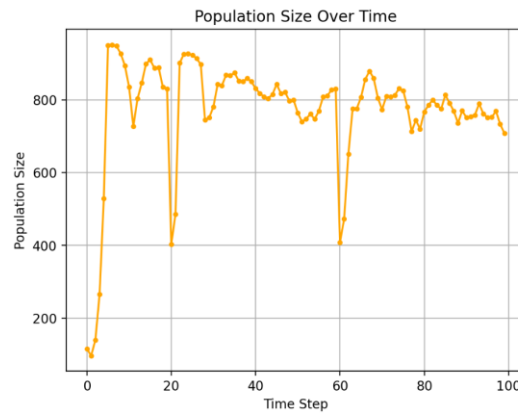
- Przy zadanym scenariuszu zmian środowiskowych (np. ocieplenie klimatu) jakie jest optymalne prawdopodobieństwo wystąpienia losowej mutacji oraz efekt mutacji, które pozwalają na adaptację rozważanej populacji?

Odpowiedź zależy od liczby cech genotypu: im więcej, tym większe prawdopodobieństwo oraz efekt mutacji potrzeba populacji do przeżycia.

Wykres dla 4 cech genotypu oraz minimalnych wartości parametrów mutacji potrzebnych do przeżycia :

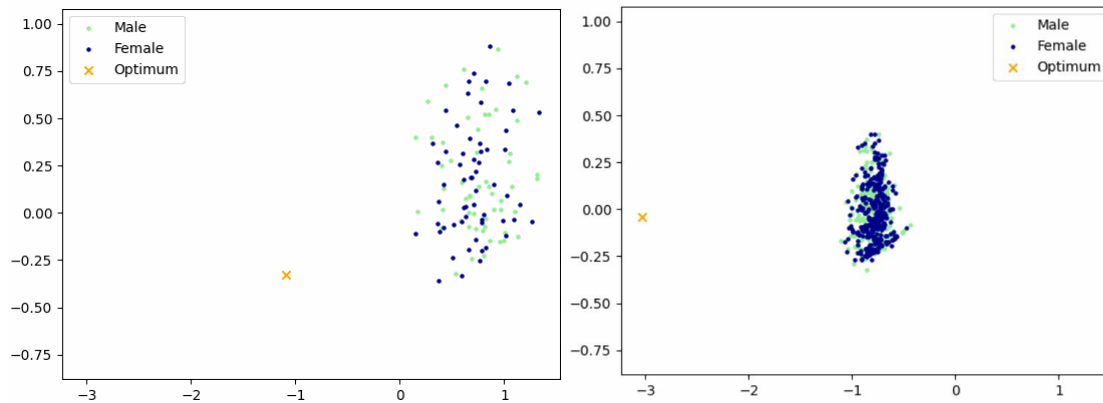
Simulation Parameters

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.1
fitness_coefficient: 0.5
max_num_children: 7
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.01
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```



- Wizualizacja ewolucji populacji w czasie

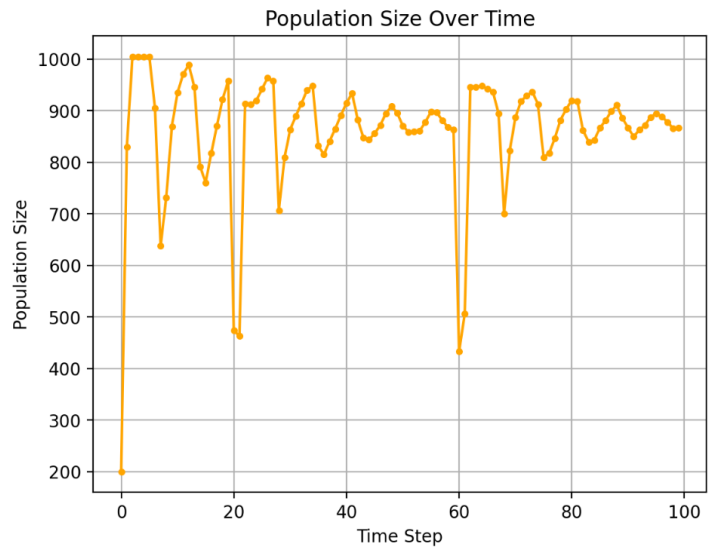
Wykres za pomocą PCA. Widać, jak zmiana optimum prowadzi do zmiany cech genotypu osobników w tym samym kierunku.



- Jak wpływa siła selekcji σ^2 na adaptację populacji? Co dzieje się w przypadku braku selekcji $\sigma \rightarrow \infty$?

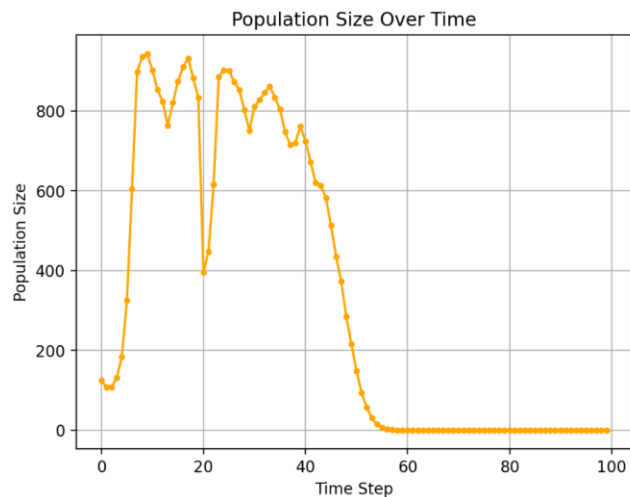
W przypadku braku selekcji populacja przeżywa nawet przy niskich wartościach parametrów mutacji:

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.02
fitness_coefficient: 1000000000000000
quad_num_children: 7
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.01
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```



Do porównania populacja o tych samych parametrach i zwykłej wartości σ szybko zanika:

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.02
fitness_coefficient: 0.5
max_num_children: 7
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.01
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```



- Jakie mutacje się propagują?

Propagują się mutacje najbliższe wartościom optimum

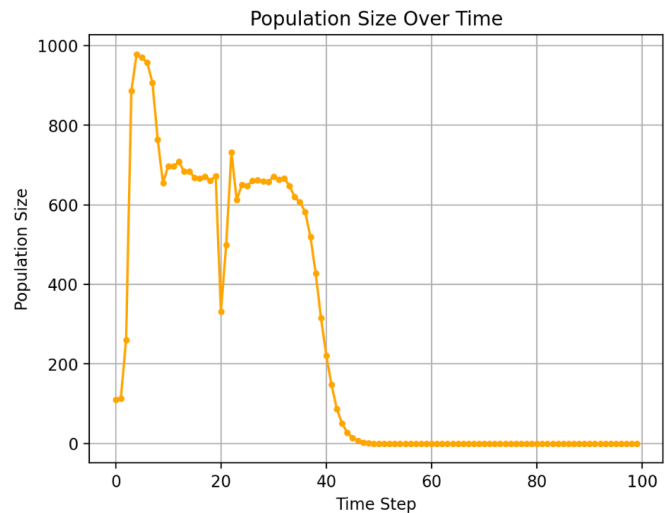
- Ocena przebiegu ewolucji przy klonowaniu

W klonowaniu sukces populacji jest mniejszy bez względu na to, że w jednym kroku czasowym może się urodzić więcej osobników, niż w reprodukcji płciowej. Tak się dzieje przy większej liczbie genów ponieważ w jednym kroku mutacja może być tylko w jednym genie. Natomiast w przypadku reprodukcji płciowej mutacje obydwu osobników się dodają i przekazują się w następnym pokoleniu. Więcej mutacji – lepsze przystosowanie.

Poniżej wykres dla populacji o tych samych parametrach, co wyżej, tylko o reprodukcji płciowej:

Simulation Parameters

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.02
fitness_coefficient: 0.5
max_num_children: 7
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.01
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```



- Jak wybór partnera wpływa na przystosowanie populacji

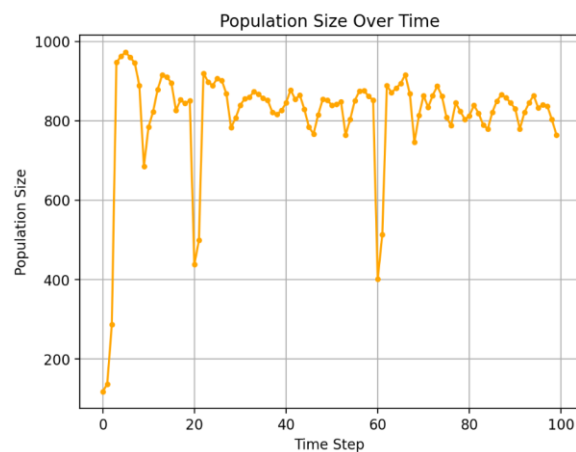
Wybór (zwłaszcza jeśli preferencja nie jest w stronę ruchu optimum) może prowadzić do większej liczby potomków o genotypie mniej korzystnym. Natomiast ogólnie obecność preferencji nie zaburza mocno liczbę osobników w populacji.

Na przykład, wykres liczby osobników dla populacji z preferencją:

Widać większe skoki, bo preferencja nie w stronę zmiany środowiska, co prowadzi do pojawienia się potomków mniej korzystnych, które umierają w najbliższych krokach.

Simulation Parameters

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.1
fitness_coefficient: 0.5
max_num_children: 10
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.005
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```



Natomiast wykres dla populacji bez preferencji z tymi samymi parametrami wygląda bardziej stabilnie:

Simulation Parameters

```
init_population: 200
max_population: 1000
num_genes: 4
mutation_probability: 0.75
mutation_effect: 0.1
fitness_coefficient: 0.5
max_num_children: 10
scenario: mixed_gw_m
global_warming_scale: 0.005
global_warming_var: 0.001
meteor_impact_strategy: 2
meteor_impact_every: 40
meteor_impact_at: [20, 60]
num_steps: 100
```

