

# Laboratorium 5: Supermodeling

Bartosz Gacek

Jerzy Boksa

## 1 Wstęp

Celem laboratorium było zbadanie efektywności podejścia supermodelingu w porównaniu z tradycyjnymi modelami surrogatowymi. Supermodeling to technika łącząca wiele niedoskonałych modeli poprzez ich sprzężenie (coupling), co w założeniu ma prowadzić do lepszych predykcji niż pojedyncze modele działające osobno.

W ramach eksperymentu zrealizowano następujące kroki:

1. Stworzono model **Baseline** (pełny model Lotki–Volterry), który służył jako "ground truth".
2. Wytrenowano **Surrogate 1** – model uproszczony, trenowany z pełną asymilacją danych (ABC–SMC).
3. Przygotowano **Surrogates 2, 3, 4** – trzy modele uproszczone, trenowane w bardzo krótkim czasie.
4. Zbudowano **Supermodel** łączący modele 2, 3 i 4.

Zgodnie z wymaganiami zadania, suma czasu treningu modeli 2, 3, 4 oraz supermodelu nie mogła przekraczać czasu treningu modelu Surrogate 1. W naszej implementacji warunek ten został spełniony:

- Surrogate 1: 4000 ewaluacji
- Pozostałe modele łącznie: 3850 ewaluacji (100 + 3750)

## 2 Metodologia

### 2.1 Model Baseline

Jako model odniesienia wykorzystano równania Lotki–Volterry z 4 parametrami:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy, \\ \frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y. \end{cases} \quad (1)$$

Przyjęte parametry:  $\alpha = 1.0$ ,  $\beta = 0.1$ ,  $\gamma = 1.5$ ,  $\delta = 0.075$ . Stan początkowy:  $x_0 = 10$ ,  $y_0 = 5$ .

### 2.2 Modele surrogatowe

Modele te są uproszczoną wersją zredukowaną do 2 parametrów ( $a, b$ ), przy założeniu symetrii parametrów (a odpowiada za wzrost/zanik, b za interakcję).

## 2.3 Dane i asymilacja

Obserwacje generowano w przedziale  $t \in [0, 20]$  z dodanym szumem gaussowskim ( $\sigma = 0.5$ ). Testowanie odbywało się na przedziale  $t \in (20, 30]$ .

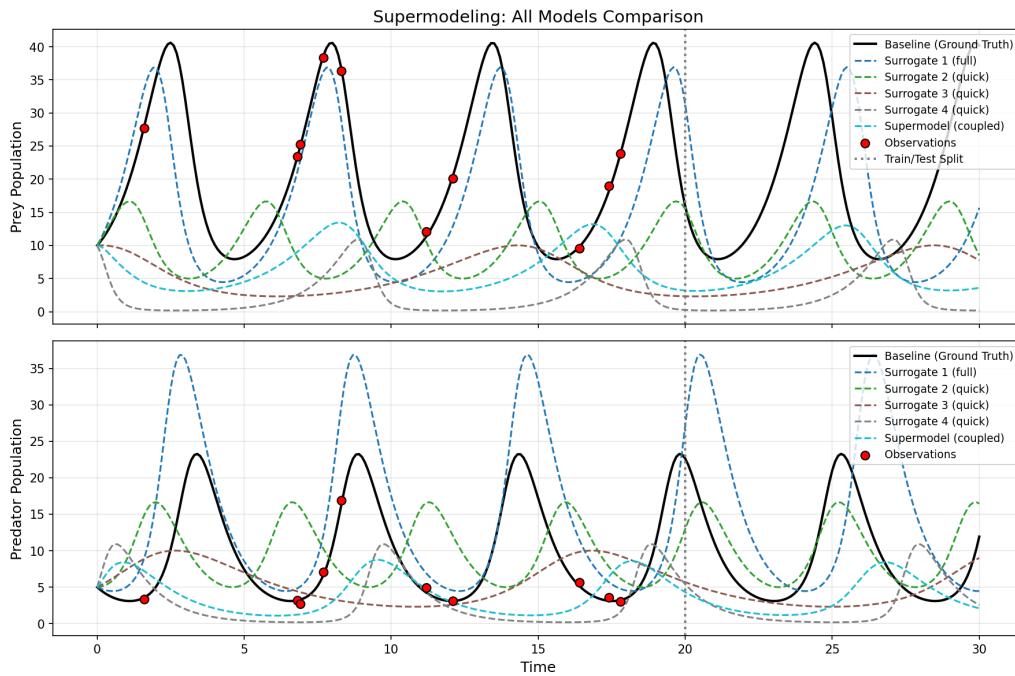
Do estymacji parametrów użyto algorytmu ABC (Approximate Bayesian Computation):

- **Surrogate 1:** pełny trening (20 populacji po 200 częstek),
- **Modele 2–4:** skrócony pretrening (1 populacja, 100 częstek), wybrano 3 najlepsze wyniki,
- **Supermodel:** trening współczynników sprzężenia (15 populacji, 250 częstek).

## 3 Wyniki

### 3.1 Trajektorie

Poniższy wykres przedstawia przebiegi populacji dla wszystkich modeli.



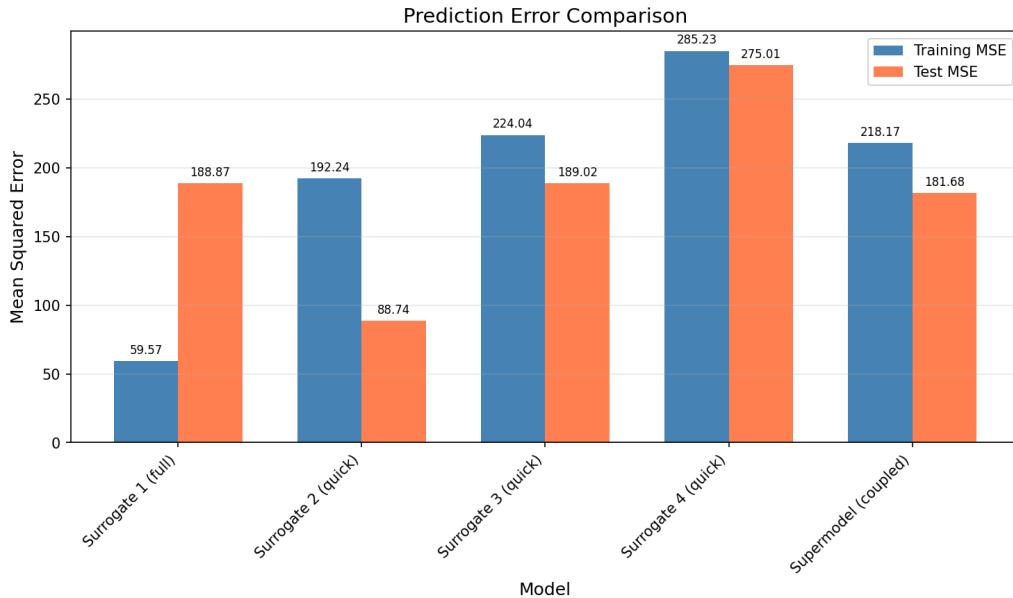
Rysunek 1: Trajektorie wszystkich modeli

Zaobserwowano:

- **Baseline** (czarny) wykazuje wyraźne oscylacje,
- **Surrogate 1** (niebieski) dobrze pokrywa się z danymi treningowymi, ale w fazie testowej jego amplituda maleje — możliwa słabsza generalizacja,
- **Surrogate 2** (zielony) mimo krótkiego treningu radzi sobie bardzo dobrze w obu przedziałach,
- **Surrogate 3 i 4** praktycznie straciły charakter oscylacyjny,
- **Supermodel** (cyjan) wypada średnio — próbuje skorygować błędy modeli 3 i 4, jednak nie osiąga jakości modelu 2.

### 3.2 Błędy predykcji (MSE)

Najlepszy wynik na zbiorze testowym osiągnął Surrogate 2 (88.74). Supermodel zajął drugie miejsce (181.68), poprawiając wyniki modeli 3 i 4, ale nie dorównując modelowi 2. Surrogate 1 mimo najmniejszego błędu na zbiorze treningowym, na teście wypadł gorzej od supermodelu.



Rysunek 2: Porównanie błędów predykcji

Model	Training MSE	Test MSE
Surrogate 1	59.57	188.87
Surrogate 2	192.24	88.74
Surrogate 3	224.04	189.02
Surrogate 4	285.23	275.01
Supermodel	218.17	181.68

Tabela 1: Tabela błędów średniokwadratowych

### 3.3 Parametry

Analiza parametrów pokazuje, że Surrogate 2 miał wartości najbardziej zbliżone do wartości referencyjnych, natomiast pozostałe modele bardziej od nich odbiegały.

## 4 Dyskusja

Supermodel skutecznie poprawił wyniki względem najsłabszych modeli składowych (Surrogate 3 i 4). Zredukował błąd modelu 4 z 275.01 do 181.68. Nie udało mu się jednak pobić najlepszego z grupy — Surrogate 2. Wynika to z natury uśredniania: supermodel podnosi słabe modele, ale może nieznacznie pogorszyć najlepszy model przez wpływ słabych składowych.

Zaskakującym wynikiem jest fakt, że w pełni trenowany Surrogate 1 poradził sobie gorzej na zbiorze testowym niż "szybki" Surrogate 2 — wskazuje to na overfitting. Budżet czasowy został wykorzystany efektywnie; Surrogate 2 pokazał, że krótki trening (przy sprzyjającym losowaniu początkowym) może dać lepsze rezultaty niż długotrwała asymilacja niosąca ryzyko przeuczenia.

W praktyce supermodel daje większą stabilność: zamiast ryzykować trafienie na jeden słaby szybki model, supermodel daje uśredniony, bezpieczniejszy wynik.

## 5 Wnioski

1. Supermodeling pozwala poprawić jakość predykcji w porównaniu do słabych modeli składowych i zwiększa stabilność rozwiązania.

2. Warunek czasowy zadania został spełniony (suma ewaluacji supermodelu mniejsza od modelu referencyjnego).
3. Dłuższy trening nie zawsze oznacza lepsze wyniki na zbiorze testowym (przykład Surrogate 1 — overfitting).
4. Supermodel wygrał z modelem Surrogate 1 pod względem błędu testowego, co potwierdza sensowność tej metody w warunkach niepewności i ograniczonych danych.

## 6 Wkład modelu językowego

W trakcie prac korzystaliśmy z modeli językowych GPT oraz Gemini jako narzędzi wspomagających przy następujących zadaniach:

- wybór i sformułowanie równania Lotki–Volterry,
- wsparcie implementacji i debugowania kodu,
- sugestie wartości początkowych parametrów dla modelu baseline,
- korekta językowa, ortograficzna i stylistyczna treści raportu.