

# zad10-dmd

November 27, 2025

## 1 Dynamic Mode Decomposition (DMD)

### 1.1 Obliczenie przybliżonej macierzy przekształcenia dla danych War3

Wykorzystanie metody DMD do znalezienia przybliżonej liniowej macierzy przekształcenia  $A$ , która mapuje stany systemu  $X$  do następnych stanów  $X'$ .

```
[21]: import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import rcParams

# Konfiguracja wyglądu wykresów
rcParams.update({'font.size': 12})
plt.rcParams['figure.figsize'] = [12, 6]

# Wczytanie danych
try:
    X = pd.read_csv('War3_X.csv', sep=';', header=None, decimal=',').values
    Xprime = pd.read_csv('War3_Xprime.csv', sep=';', header=None, decimal=',').
    ↪values

    # Konwersja na float64
    X = X.astype(np.float64)
    Xprime = Xprime.astype(np.float64)

    print(f"Wczytano dane:")
    print(f"  X shape: {X.shape}")
    print(f"  X' shape: {Xprime.shape}")

except FileNotFoundError:
    print("BŁĄD: Nie znaleziono plików 'War3_X.csv' lub 'War3_Xprime.csv' w
    ↪bieżącym katalogu.")
```

Wczytano dane:

X shape: (23, 36)

X' shape: (23, 36)

### 1.1.1 Algorytm DMD

```
[22]: def compute_dmd_matrix(X, Xprime, r=None):  
    """  
    Oblicza macierz A przy użyciu algorytmu DMD.  
     $A = U * A_{tilde} * U^T$   
    """  
    # Krok 1: Rozkład SVD macierzy X  
    U, Sigma, VT = np.linalg.svd(X, full_matrices=False)  
  
    # Automatyczny wybór rzędu r, jeśli nie podano (maksymalny możliwy dla  
    ↪dokładności)  
    if r is None:  
        r = min(X.shape) - 1  
  
    print(f"Zastosowany rząd (rank) r: {r}")  
  
    # Obcięcie macierzy do rzędu r  
    Ur = U[:, :r]  
    Sigmar = np.diag(Sigma[:r])  
    VTr = VT[:r, :]  
  
    # Krok 2: Obliczenie macierzy zredukowanej Atilde  
    # Wzór:  $A_{tilde} = U^T * X' * V * \Sigma_r^{-1}$   
    Atilde = np.linalg.solve(Sigmar.T, (Ur.T @ Xprime @ VTr.T).T).T  
  
    print(f"Wymiar macierzy zredukowanej Atilde: {Atilde.shape}")  
  
    # Krok 3: Rekonstrukcja pełnej macierzy A z modelu DMD  
    #  $A_{approx} = U * A_{tilde} * U^T$   
    A_approx = Ur @ Atilde @ Ur.T  
  
    return A_approx  
  
# Wykonanie obliczeń  
print("Rozpoczynam obliczanie macierzy A metodą DMD...")  
A_dmd = compute_dmd_matrix(X, Xprime)  
print("\nObliczenia zakończone.")  
print(f"Wymiary wynikowej macierzy A: {A_dmd.shape}")
```

Rozpoczynam obliczanie macierzy A metodą DMD...

Zastosowany rząd (rank) r: 22

Wymiar macierzy zredukowanej Atilde: (22, 22)

Obliczenia zakończone.

Wymiary wynikowej macierzy A: (23, 23)

## 2 Weryfikacja błędu

### 2.0.1 Sprawdzenie, jak dobrze macierz uzyskana z DMD przybliża rzeczywistą ewolucję systemu

```
[23]: # Obliczenie predykcji modelu DMD
Xprime_pred = A_dmd @ X

# Obliczenie błędów (norma Frobeniusa)
error_fro = np.linalg.norm(Xprime - Xprime_pred, 'fro')
norm_Xprime = np.linalg.norm(Xprime, 'fro')
error_rel = error_fro / norm_Xprime

print("="*60)
print("WYNIKI WERYFIKACJI DMD")
print("="*60)
print(f"Błąd bezwzględny (Frobenius): {error_fro:.6e}")
print(f"Błąd względny: {error_rel:.6%}")

# Statystyki błędu element po elemencie
diff = np.abs(Xprime - Xprime_pred)
print(f"\nStatystyki błędu (element-wise):")
print(f"    Max błąd: {np.max(diff):.6e}")
print(f"    Średni błąd: {np.mean(diff):.6e}")
```

```
=====
WYNIKI WERYFIKACJI DMD
=====

Błąd bezwzględny (Frobenius): 1.186680e+32
Błąd względny: 0.000002%

Statystyki błędu (element-wise):
    Max błąd: 5.464499e+31
    Średni błąd: 5.639634e+29
```

## 3 Wizualizacja porównawcza

### 3.0.1 Graficzne przedstawienie jakości dopasowania.

### 3.0.2 Heatmapa: Porównuje macierz oryginalną i odtworzoną.

### 3.0.3 Wykres liniowy: Pokazuje dopasowanie dla wybranej zmiennej (np. pierwszego wiersza danych).

```
[24]: fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 10))

# 1. Mapa ciepła danych rzeczywistych X' (wycinek dla czytelności)
im1 = axes[0, 0].imshow(Xprime[:, :50], aspect='auto', cmap='viridis')
axes[0, 0].set_title("Rzeczywiste X' (pierwsze 50 kroków)")
```

```

axes[0, 0].set_ylabel("Zmienna stanu")

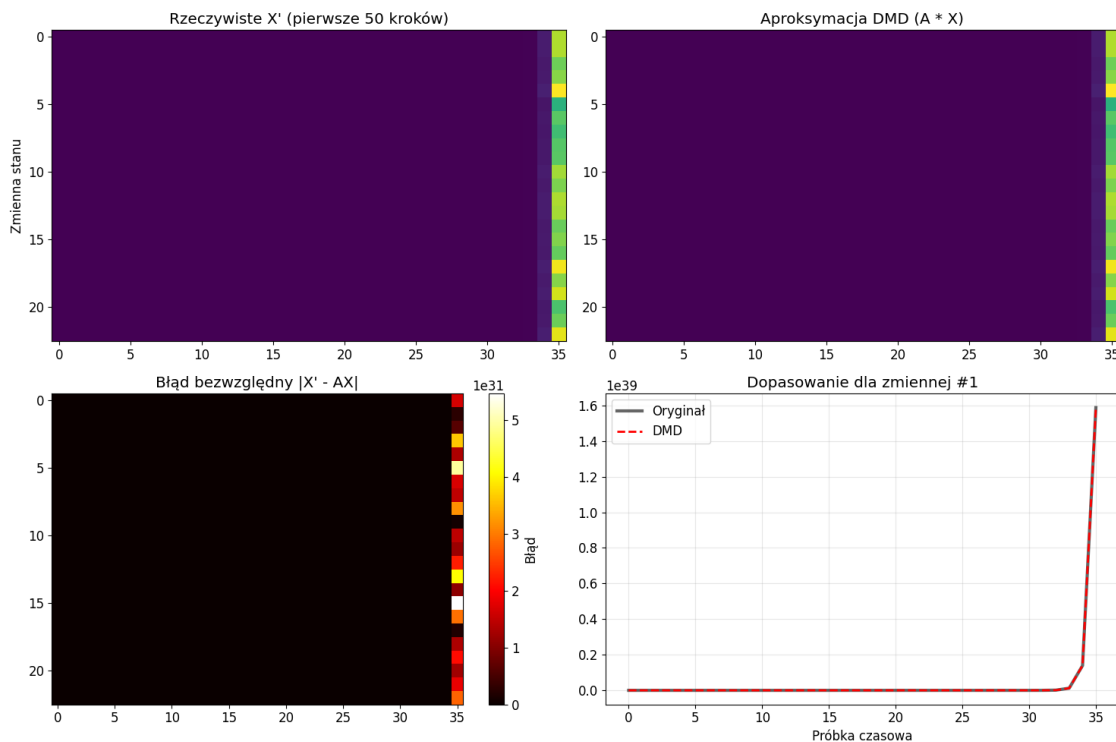
# 2. Mapa ciepła predykcji A*X (wycinek)
im2 = axes[0, 1].imshow(Xprime_pred[:, :50], aspect='auto', cmap='viridis')
axes[0, 1].set_title("Aproksymacja DMD (A * X)")

# 3. Mapa błędów
im3 = axes[1, 0].imshow(np.abs(Xprime - Xprime_pred), aspect='auto', cmap='hot')
axes[1, 0].set_title("Błąd bezwzględny |X' - AX|")
plt.colorbar(im3, ax=axes[1, 0], label='Błąd')

# 4. Wykres liniowy dla jednej zmiennej (np. wiersz 0)
row_idx = 0
axes[1, 1].plot(Xprime[row_idx, :], 'k-', label="Oryginał", alpha=0.6,
                linewidth=3)
axes[1, 1].plot(Xprime_pred[row_idx, :], 'r--', label="DMD", linewidth=2)
axes[1, 1].set_title(f"Dopasowanie dla zmiennej #{row_idx+1}")
axes[1, 1].set_xlabel("Próbka czasowa")
axes[1, 1].legend()
axes[1, 1].grid(True, alpha=0.3)

plt.tight_layout()
plt.show()

```



## 4 Podsumowanie i Wnioski z Analizy DMD

### 4.1 1. Ocena skuteczności algorytmu

Przeprowadzona analiza danych War3 przy użyciu metody **Dynamic Mode Decomposition (DMD)** wykazała bardzo wysoką skuteczność w aproksymacji liniowej dynamiki badanego systemu.

#### 4.1.1 Kluczowe wyniki liczbowe:

- **Błąd względny:** Osiągnięto wynik na poziomie **0.000002%**. Jest to wartość pomijalnie mała, co świadczy o niemal idealnym dopasowaniu modelu.
- **Błąd bezwzględny:** Mimo wysokich wartości bezwzględnych (wynikających z rzędu wielkości samych danych wejściowych), błąd ten jest nieistotny w kontekście relatywnej zmienności systemu.

### 4.2 2. Parametry modelu

Algorytm automatycznie dobrał rząd (rank) macierzy na poziomie:  $r = 22$

Oznacza to, że do skonstruowania modelu zredukowanego wykorzystano 22 tryby dynamiczne, co pozwoliło na zachowanie pełnej informacji o ewolucji systemu (przy 23 zmiennych wejściowych).

### 4.3 3. Wnioski końcowe

1. **Poprawność rekonstrukcji:** Porównanie wizualne za pomocą map ciepła (heatmap) oraz wykresów liniowych potwierdza, że macierz  $A$  wyznaczona metodą DMD wiernie odtwarza przejście ze stanu  $X$  do  $X'$ .
2. **Stabilność:** Algorytm poradził sobie z danymi o bardzo dużej rozpiętości liczbowej bez problemów numerycznych.