

# laboratorium4

April 3, 2023

## 1 Laboratorium 4

Piotr Kuchta, Sebastian Soczawa

Zadanie 1: wyznaczanie wielomianów interpolujących za pomocą: wielomianów Lagrange'a z równoodległymi węzłami, kubicznych funkcji sklejanych z równoodległymi węzłami oraz wielomianów Lagrange'a z węzłami Czebyszewa

Na początku importujemy potrzebne biblioteki

```
[ ]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import interpolate
import mpmath as mp
from random import uniform
```

Definiujemy podane w zadaniu funkcje:

```
[ ]: def f1(x):
    return 1/(1+25*x*x)

def f2(x):
    return mp.exp(mp.cos(x))
```

Następnie implementujemy funkcję obliczającą wielomian interpolacyjny Lagrange'a

```
[ ]: def lagrange_polynomial(x_values, y_values, x):
    sol = 0
    t = 0
    for i in range(0, len(x_values)):
        t = 1
        for j in range(0, len(y_values)):
            if(j != i):
                t = t*((x-x_values[j])/(x_values[i]-x_values[j]))
        sol += t*y_values[i]
    return sol
```

Oraz funkcje pomocnicze służące do generowania węzłów Czebyszewa

```
[ ]: #transforms chebyshev points to interval [a,b]

def transform_cheb(nodes, a, b):
    for i in range(len(nodes)):
        nodes[i] = a+(b-a)*(nodes[i]+1)/2
    return nodes
#calculates n standard chebyshev points on interval[1,1]

def get_nodes_cheb(n):
    nodes = np.empty(shape=n, dtype=float)
    for i in range(1,n+1):
        nodes[i-1] = mp.cos((mp.pi*(2*i-1))/(2*n))
    return nodes
```

i funkcję do generowania równoodległych punktów

```
[ ]: #gets n equidistant nodes in interval [a,b]

def get_eqdist(n, a, b):
    nodes = np.empty(shape=n, dtype=float)
    h = (b-a)/n
    for i in range(n):
        nodes[i] = a+h*i
    nodes[n-1] = b
    return nodes
```

Zadanie a)

Definiujemy węzły interpolacji oraz punkty próbkowania

```
[ ]: # 12 interpolation nodes for Lagrange
x_eq = np.linspace(-1,1,12)
y_eq = [f1(x) for x in x_eq]
# 12 interpolation nodes for Chebyshev
x_ch = get_nodes_cheb(12)
y_ch = [f1(x) for x in x_ch]
# 120 steady sampling points
x_space = np.arange(-1, 1, 1/1200)
```

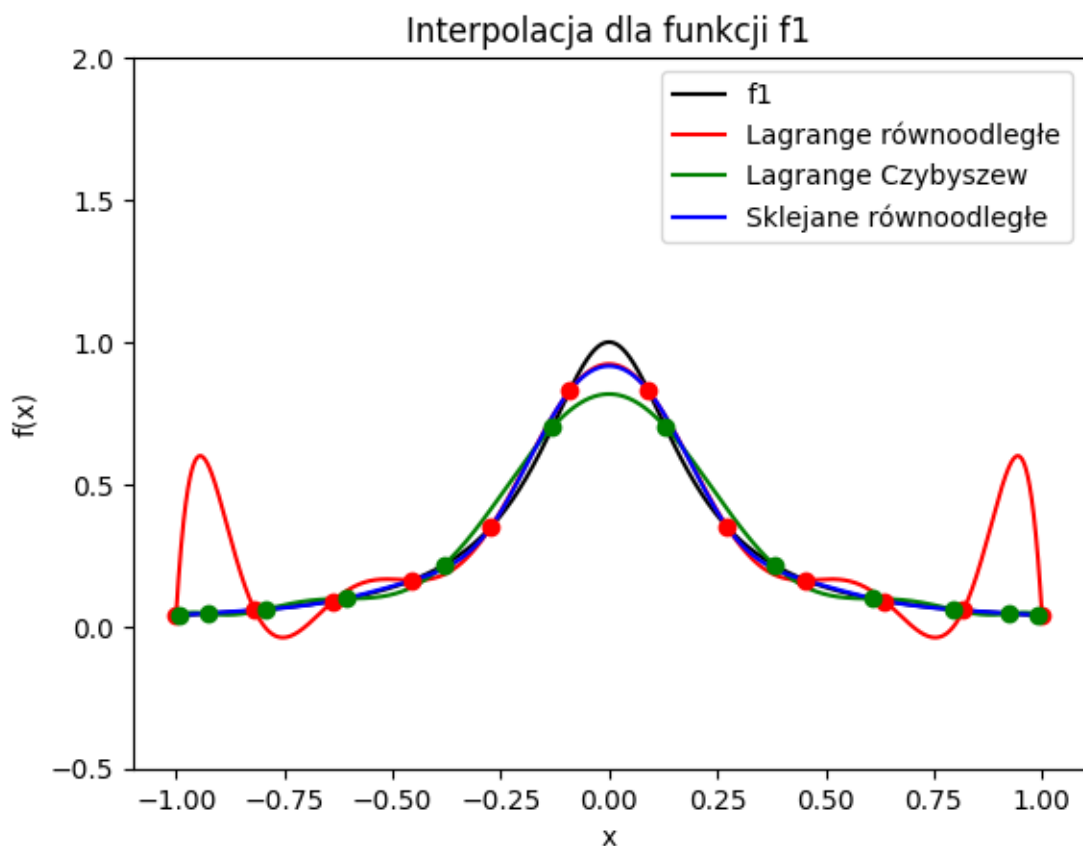
Obliczamy wielomiany interpolujące w 3 wariantach:

```
[ ]: y_eqdist_lag = [lagrange_polynomial(x_eq,y_eq,x) for x in x_space] #Lagrange
y_cheb_lag = [lagrange_polynomial(x_ch,y_ch,x) for x in x_space] # Lagrange
    ↪ with Chebyshev points
cs = interpolate.CubicSpline(x_eq,y_eq) # Cubic spline
```

Ograniczając się tylko do wartości z przedziału  $[-0.5, 2]$  Rysujemy wykresy wszystkich wielomianów, oraz faktyczną funkcję

```
[ ]: plt.ylim(-0.5,2)
plt.plot(x_space,[f1(x) for x in x_space],color="black", label="f1")
plt.plot(x_space,y_eqdist_lag, color="r", label="Lagrange równoodległe")
plt.plot(x_space,y_cheb_lag, color="g", label="Lagrange Czybyszew")
plt.plot(x_space,cs(x_space),color="b", label="Sklejane równoodległe")
plt.plot(x_eq, f1(x_eq), 'o', color='r')
plt.plot(x_ch, f1(x_ch), 'o', color='g')
plt.xlabel("x")
plt.ylabel("f(x)")
plt.legend()
plt.title("Interpolacja dla funkcji f1")
```

```
[ ]: Text(0.5, 1.0, 'Interpolacja dla funkcji f1')
```



Możemy zauważyć dla wielomianu interpolacyjnego Lagrange'a bardzo złe dopasowanie wielomianu w pomiędzy skrajnymi węzłami interpolacyjnymi. Dla węzłów Czebyszewa efekt ten również zachodzi lecz znacznie mniejszym stopniu - zmniejszenie odległości pomiędzy skrajnymi punktami interpolacji trochę poprawiło dopasowanie wielomianu pomiędzy tymi punktami. Najlepiej dopasowanym wielomianem interpolacyjnym okazał się wielomian stworzony przy pomocy kubicznych funkcji sklejanych, na wykresie praktycznie pokrywa się z prawdziwą funkcją.

Zadanie b)

Na początku tworzymy wektory błędów dla każdej z interpolacji

```
[ ]: err1 = np.empty(47)
      err2 = np.empty(47)
      err3 = np.empty(47)

      err_eqdist_lag = np.empty(500)
      err_cheb_lag = np.empty(500)
      err_cs = np.empty(500)
```

Następnie generujemy 500 losowych punktów z przedziału (-1, 1)

```
[ ]: x_set = np.empty(500)
      for j in range(500):
          x_set[j] = uniform(-1,1)
```

Dla ilości węzłów interpolacji  $n = 4, 5, \dots, 50$  kolejno obliczamy wielomiany interpolacyjne oraz wektory błędów bezwzględnych dla każdego wielomianu

```
[ ]: for i in range(4,51):
      x_eq = get_eqdist(i,-1,1)
      y_eq = [f1(x) for x in x_eq] # exact values in Lagrange interpolation nodes

      x_ch = transform_cheb(get_nodes_cheb(i), -1, 1)
      y_ch = [f1(x) for x in x_ch] # exact values in Chebyshev interpolation nodes

      y_eqdist_lag = [lagrange_polynomial(x_eq,y_eq,x) for x in x_set] # Lagrange
      ↪ polynomial
      y_cheb_lag = [lagrange_polynomial(x_ch,y_ch,x) for x in x_set] # Chebyshev
      cs = interpolate.CubicSpline(x_eq,y_eq)
      y_cs = [cs(x) for x in x_set] # cubic splines

      for j in range(500):
          err_eqdist_lag[j] = abs(y_eqdist_lag[j] - f1(x_set[j]))
          err_cheb_lag[j] = abs(y_cheb_lag[j] - f1(x_set[j]))
          err_cs[j] = abs(y_cs[j] - f1(x_set[j]))

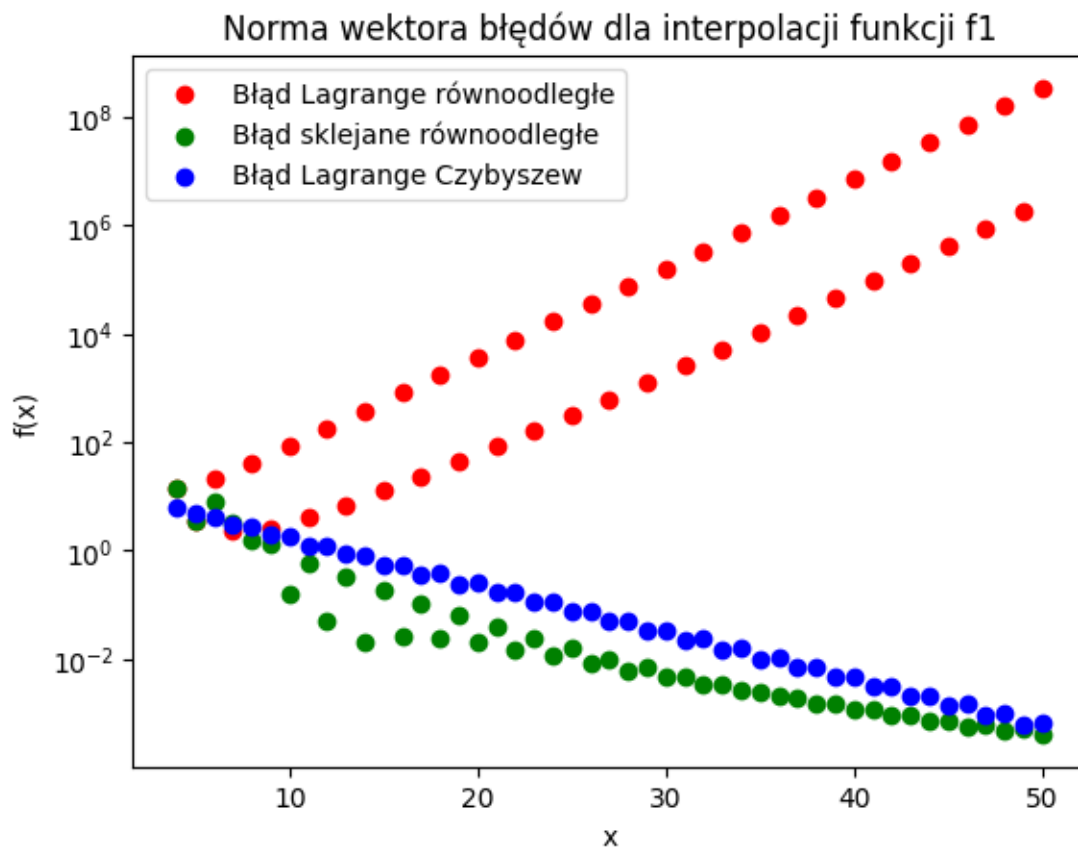
      err1[i-4] = np.linalg.norm(err_eqdist_lag)
      err2[i-4] = np.linalg.norm(err_cs)
      err3[i-4] = np.linalg.norm(err_cheb_lag)
```

Następnie rysujemy punktowy wykres błędu dla każdego z wielomianów w skali logarytmicznej

```
[ ]: plt.semilogy()
      plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err1, color='r', label="Błąd Lagrange
      ↪ równoodległe")
```

```
plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err2, color='g', label="Błąd sklejjane_
↪równoodległe")
plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err3, color='b',label="Błąd Lagrange_
↪Czybyszew")
plt.xlabel("x")
plt.ylabel("f(x)")
plt.title("Norma wektora błędów dla interpolacji funkcji f1")
plt.legend()
```

[ ]: <matplotlib.legend.Legend at 0x1afec62ad30>



Na wykresie można zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości węzłów interpolacji, błąd dla równoodległych węzłów i metody Lagrange'a również rośnie wykładniczo, zachodzi tutaj efekt Rungego. W przypadku dwóch pozostałych wielomianów oba wraz ze wzrostem liczby węzłów zwiększają swoją dokładność, jednak funkcje sklejjane dla tej konkretnej funkcji są bardziej dokładne

Generujemy analogiczny wykres dla drugiej funkcji:

```
[ ]: err1 = np.empty(47)
     err2 = np.empty(47)
```

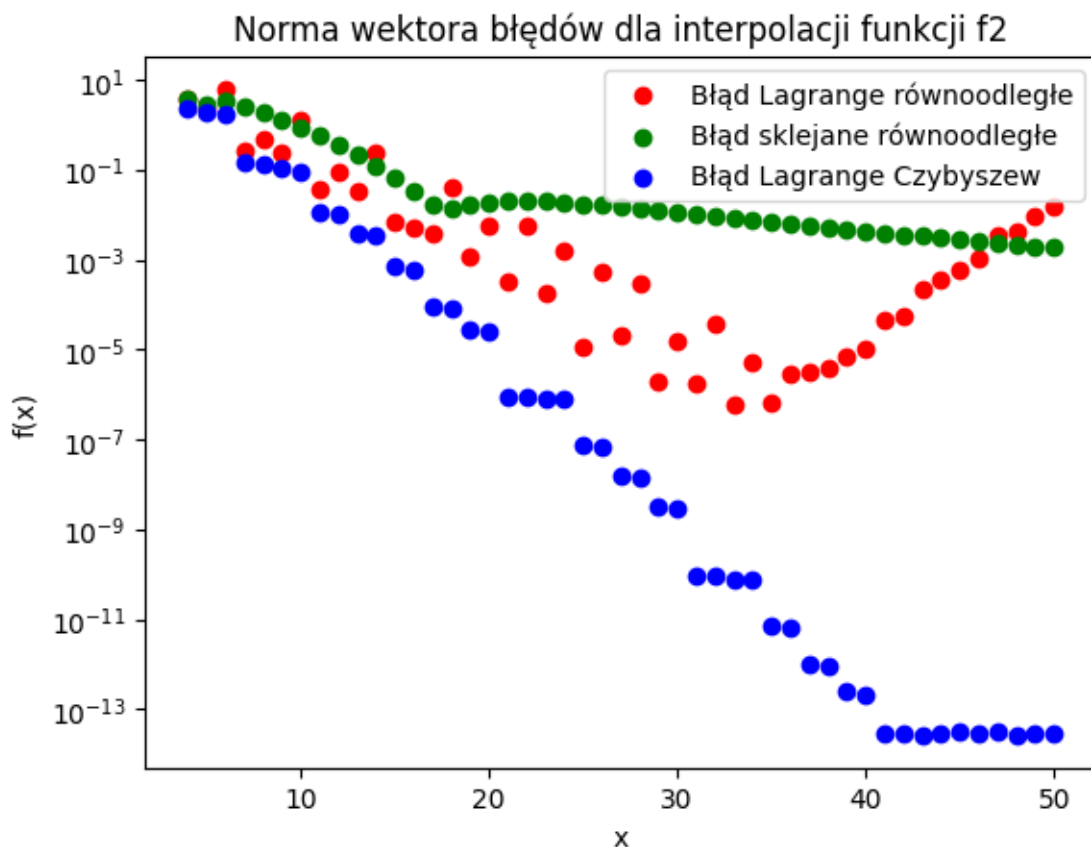
```

err3 = np.empty(47)
err_eqdist_lag = np.empty(500)
err_cheb_lag = np.empty(500)
err_cs = np.empty(500)
x_set = np.empty(500)
for j in range(500):
    x_set[j] = uniform(0, 2*mp.pi)
for i in range(4, 51):
    x_eq = get_eqdist(i, 0, 2*mp.pi)
    y_eq = [f2(x) for x in x_eq]
    x_ch = transform_cheb(get_nodes_cheb(i), 0, 2*mp.pi)
    y_ch = [f2(x) for x in x_ch]
    y_eqdist_lag = [lagrange_polynomial(x_eq, y_eq, x) for x in x_set]
    y_cheb_lag = [lagrange_polynomial(x_ch, y_ch, x) for x in x_set]
    cs = interpolate.CubicSpline(x_eq, y_eq)
    y_cs = [cs(x) for x in x_set]

    for j in range(500):
        err_eqdist_lag[j] = abs(y_eqdist_lag[j] - f2(x_set[j]))
        err_cheb_lag[j] = abs(y_cheb_lag[j] - f2(x_set[j]))
        err_cs[j] = abs(y_cs[j] - f2(x_set[j]))
    err1[i-4] = np.linalg.norm(err_eqdist_lag)
    err2[i-4] = np.linalg.norm(err_cs)
    err3[i-4] = np.linalg.norm(err_cheb_lag)
plt.semilogy()
plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err1, color='r', label="Błąd Lagrange_
↪równoodległe")
plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err2, color='g', label="Błąd sklejjane_
↪równoodległe")
plt.scatter([i for i in range(4, 51)], err3, color='b', label="Błąd Lagrange_
↪Czybyszew")
plt.xlabel("x")
plt.ylabel("f(x)")
plt.title("Norma wektora błędów dla interpolacji funkcji f2")
plt.legend()

```

```
[ ]: <matplotlib.legend.Legend at 0x1afefbd7d60>
```



W tym przypadku bezkonkurencyjnie wygrywa interpolacja przy użyciu węzłów Czebyszewa. Równoodległe punkty w interpolacji Lagrange’a do pewnego momentu dają bardzo dobre wyniki, niestety od  $n = 35$  pojawia się efekt Rungego i błąd zaczyna rosnąć. Jesteśmy w stanie znaleźć takie  $n$ , dla którego błąd będzie najmniejszy i porównując go z błędem interpolacji dla funkcji sklejących jest on stosunkowo mały.

## 2 Wnioski

Analizując dwa powyższe przykłady, dochodzimy do wniosku, że w ogólnym przypadku interpolacja Lagrange’a przy użyciu węzłów Czebyszewa daje najlepsze efekty, niemalże zawsze lepsze niż dla punktów równoodległych. Jednak warto czasem rozważyć użycie funkcji sklejących, ponieważ jak możemy zobaczyć w podpunkcie a), dla konkretnej funkcji i konkretnej ilości węzłów interpolacji, możemy dzięki nim uzyskać bardzo dokładne wyniki.