

# Sprawozdanie laboratorium lista 4

## Obliczenia naukowe

Zofia Tarchalska, indeks: 279699

### Wstęp do zadań 1-4

W pierwszych trzech zadaniach należy zaimplementować algorytmy dotyczące interpolacji wielomianowej.

Interpolacja wielomianowa jest jednym z podstawowych narzędzi analizy numerycznej, pozwalającym na przybliżanie funkcji za pomocą wielomianów przechodzących przez zadane punkty. Szczególnie użyteczna jest postać Newtona, w której współczynniki wyznaczane są za pomocą ilorazów różnicowych. Ta reprezentacja jest wygodna obliczeniowo i umożliwia łatwe dodawanie nowych węzłów bez konieczności ponownego wyznaczania całego wielomianu.

W sprawozdaniu rozważymy trzy powiązane ze sobą algorytmy:

1. Obliczanie ilorazów różnicowych na podstawie wartości funkcji w węzłach interpolacji.
2. Wyznaczanie wartości wielomianu Newtona w punkcie  $t$  za pomocą uogólnionego algorytmu Hornera, działającego w czasie liniowym  $O(n)$ .
3. Przekształcanie wielomianu Newtona do postaci naturalnej  $a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$ , co wymaga czasu  $O(n^2)$ .

### Zadanie 1

#### Algorytm obliczania ilorazów różnicowych

##### Wejście

- Wektor węzłów  $x = [x_0, x_1, \dots, x_n]$  długości  $n+1$ .
- Wektor wartości funkcji  $f = [f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)]$  długości  $n+1$ .

##### Wyjście

- Wektor  $fx = [f[x_0], f[x_0, x_1], \dots, f[x_0, \dots, x_n]]$  długości  $n+1$ , zawierający kolejne ilorazy różnicowe.

## Idea działania

Algorytm oblicza współczynniki dla wielomianu interpolacyjnego Newtona. Zamiast tworzyć tablicę dwuwymiarową, wszystkie obliczenia wykonuje w jednym wektorze, nadpisując jego wartości w kolejnych krokach. Pierwszy element wektora wynikowego jest wartością funkcji w pierwszym węźle, a kolejne elementy powstają poprzez iteracyjne obliczanie ilorazów różnicowych wyższych rzędów.

## Opis kroków

1. Utwórz wektor  $fx$  długości  $n + 1$  i skopiuj do niego wartości funkcji  $f(x_i)$ .
2. Ustal  $fx[1] = f(x_0)$ .
3. Dla każdego rzędu  $j = 2, 3, \dots, n + 1$ :
  - Przejdz po wektorze od końca do początku.
  - Zastap element  $fx[i]$  wartością:
$$fx[i] \leftarrow \frac{fx[i] - fx[i-1]}{x[i] - x[i-j+1]}$$
4. Po zakończeniu pętli wektor  $fx$  zawiera wszystkie ilorazy różnicowe.

## Złożoność

- Czasowa:  $O(n^2)$ , ponieważ algorytm wykonuje podwójną pętlę.
- Pamięciowa:  $O(n)$ , ponieważ używany jest tylko jeden wektor długości  $n + 1$ .

## Zadanie 2

### Algorytm obliczania wartości wielomianu Newtona

#### Wejście

- Wektor węzłów  $x = [x_0, x_1, \dots, x_n]$  długości  $n + 1$ .
- Wektor ilorazów różnicowych  $fx = [f[x_0], f[x_0, x_1], \dots, f[x_0, \dots, x_n]]$  długości  $n + 1$ .
- Punkt  $t \in \mathbb{R}$ , w którym należy obliczyć wartość wielomianu interpolacyjnego Newtona.

#### Wyjście

- Wartość wielomianu Newtona  $N_n(t)$  w punkcie  $t$ .

## Idea działania

Ponieważ wielomian Newtona jest postaci:

$$\begin{aligned} N_n(t) = & f[x_0] + f[x_0, x_1](t - x_0) + f[x_0, x_1, x_2](t - x_0)(t - x_1) \\ & + \cdots + f[x_0, \dots, x_n](t - x_0)(t - x_1) \dots (t - x_{n-1}) \end{aligned} \quad (1)$$

Bezpośrednie obliczanie wymagałoby mnożenia coraz dłuższych iloczynów i dodawania kolejnych wyrazów, co prowadzi do kosztu rzędu  $O(n^2)$ . Uogólniony algorytm Hornera pozwala uniknąć tego problemu, przekształcając obliczenia w prostą procedurę rekurencyjnego „zwijania” wielomianu.

Zaczynamy od najwyższego współczynnika (ilorazu różnicowego rzędu  $n$ ) i cofamy się w dół, w każdej iteracji doklejając czynnik  $(t - x_i)$  oraz dodając współczynnik niższego rzędu. Dzięki temu wielomian jest budowany krok po kroku, bez potrzeby jawnego rozwijania wszystkich iloczynów.

## Opis kroków

1. Ustaw zmienną pomocniczą  $w \leftarrow fx[n+1]$ , czyli najwyższy współczynnik.
2. Dla  $i = n, n-1, \dots, 1$  wykonaj:

$$w \leftarrow w \cdot (t - x[i]) + fx[i].$$

3. Po zakończeniu pętli zmienna  $w$  zawiera wartość wielomianu Newtona w punkcie  $t$ .

## Złożoność

- Czasowa:  $O(n)$ , ponieważ wykonujemy dokładnie  $n$  kroków.
- Pamięciowa:  $O(1)$ , ponieważ używana jest tylko jedna zmienna pomocnicza  $w$ .

## Zadanie 3

### Algorytm przekształcania wielomianu Newtona do postaci naturalnej

#### Wejście

- Wektor węzłów  $x = [x_0, x_1, \dots, x_n]$  długości  $n + 1$ .
- Wektor ilorazów różnicowych  $fx = [f[x_0], f[x_0, x_1], \dots, f[x_0, \dots, x_n]]$  długości  $n + 1$ .

## Wyjście

- Wektor współczynników postaci naturalnej  $a = [a_0, a_1, \dots, a_n]$ , gdzie

$$N_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n.$$

## Idea działania

Wielomian Newtona zapisany jest w postaci iloczynowej z ilorazami różnicowymi jako współczynnikami. Aby uzyskać jego postać naturalną, należy kolejno rozwijać czynniki  $(x - x_i)$  i aktualizować współczynniki wielomianu. Algorytm działa iteracyjnie: zaczyna od najwyższego współczynnika  $fx[n+1]$ , a następnie w każdej iteracji „dokleja” kolejny czynnik  $(x - x_k)$ , przesuwając współczynniki w dół i dodając odpowiedni iloraz różnicowy. Dzięki temu po  $n$  krokach powstaje pełny wektor współczynników postaci naturalnej.

## Opis kroków

1. Utwórz wektor  $a$  długości  $n + 1$  i wypełnij zerami.
2. Ustaw  $a[n + 1] \leftarrow fx[n + 1]$  (najwyższy współczynnik Newtona).
3. Dla  $k = n, n - 1, \dots, 1$ :
  - (a) Dla  $j = k, k - 1, \dots, 1$  wykonaj:

$$a[j] \leftarrow a[j] - x[k] \cdot a[j + 1].$$

- (b) Następnie zaktualizuj:

$$a[k] \leftarrow a[k] + fx[k].$$

4. Po zakończeniu pętli wektor  $a$  zawiera współczynniki postaci naturalnej.

## Złożoność

- Czasowa:  $O(n^2)$ , ponieważ każda z  $n$  iteracji wymaga aktualizacji do  $n$  współczynników.
- Pamięciowa:  $O(n)$ , ponieważ przechowywany jest tylko wektor wynikowy  $a$ .

## Zadanie 4

### Algorytm rysowania wielomianu interpolacyjnego Newtona

#### Wejście

- Funkcja  $f(x)$  zadana jako anonimowa funkcja.

- Przedział interpolacji  $[a, b]$ .
- Stopień wielomianu interpolacyjnego  $n$ .

### Wyjście

- Wykres przedstawiający na jednym rysunku:
  1. interpolowaną funkcję  $f(x)$ ,
  2. wielomian interpolacyjny Newtona  $N_n(x)$ .

### Idea działania

Algorytm konstruuje wielomian interpolacyjny Newtona na podstawie wartości funkcji w wybranych węzłach interpolacji. Węzły są równoodległe w przedziale  $[a, b]$ . Najpierw obliczane są wartości funkcji w tych punktach, a następnie ilorazy różnicowe, które stanowią współczynniki postaci Newtona. Do obliczania wartości wielomianu w dowolnym punkcie wykorzystuje się funkcję `warNewton`, która działa w czasie liniowym  $O(n)$ .

Aby narysować przebieg funkcji i wielomianu, algorytm tworzy gęstą siatkę punktów w przedziale  $[a, b]$ , oblicza w nich wartości zarówno funkcji  $f(x)$ , jak i interpolantu  $N_n(x)$ , a następnie rysuje oba przebiegi na jednym wykresie. Dzięki temu można wizualnie porównać jakość interpolacji.

### Opis kroków

1. Utwórz wektory  $x$  i  $y$  długości  $n + 1$ .
2. Wyznacz równoodległe węzły  $x_k = a + k \cdot h$ , gdzie  $h = \frac{b-a}{n}$ , oraz oblicz wartości  $y_k = f(x_k)$ .
3. Oblicz współczynniki Newtona  $c$  za pomocą funkcji `ilorazyRoznicowe`.
4. Utwórz gęstą siatkę punktów  $xs$  w przedziale  $[a, b]$ .
5. Dla każdego punktu  $xs[i]$  oblicz:
  - wartość wielomianu Newtona  $poly[i] = warNewton(x, c, xs[i])$ ,
  - wartość funkcji  $func[i] = f(xs[i])$ .
6. Narysuj wykres funkcji i wielomianu interpolacyjnego na tym samym rysunku.

### Złożoność - zastanowić się jeszcze

- Obliczanie ilorazów różnicowych:  $O(n^2)$ .
- Obliczanie wartości wielomianu w siatce:  $O(n \cdot m)$ , gdzie  $m$  to liczba punktów siatki.
- Pamięciowa:  $O(n + m)$ , na przechowywanie węzłów, wartości funkcji i wyników interpolacji.

## **Zadanie 5**