

SPRAWOZDANIE NUMERYCZNE

NUM6

Zadanie

Zadana jest macierz

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 8 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 6 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

- (a) Stosując metodę potęgową znajdź największą co do modułu wartość własną macierzy \mathbf{M} oraz odpowiadający jej wektor własny. Na wykresie w skali logarytmicznej zilustruj zbieżność metody w funkcji ilości wykonanych iteracji.
- (b) Stosując algorytm QR bez przesunięć, opisany w zadaniu nr 6, znajdź wszystkie wartości własne macierzy \mathbf{M} . Zademonstruj, że macierze \mathbf{A}_i upodabniają się do macierzy trójkątnej górnej w kolejnych iteracjach. Przeanalizuj i przedstaw na odpowiednim wykresie, jak elementy diagonalne macierzy \mathbf{A}_i ewoluują w funkcji indeksu i .
- (c) Zastanów się, czy zbieżność algorytmu z pkt. (a) i (b) jest zadowalająca. Jak można usprawnić te algorytmy?

Wyniki sprawdź używając wybranego pakietu algebry komputerowej lub biblioteki numerycznej.

Cel badania

Celem tego badania numerycznego jest zastosowanie i analiza dwóch różnych metod obliczania wartości własnych macierzy \mathbf{M} :

(a) Metoda potęgowa:

Stosując metodę potęgową, celem jest znalezienie największej co do modułu wartości własnej macierzy **M** oraz odpowiadającego jej wektora własnego. Badanie ma na celu ilustrowanie zbieżności metody w funkcji liczby wykonanych iteracji. Poprzez przedstawienie wyników na wykresie w skali logarytmicznej, chcemy zobaczyć, jak szybko metoda potęgowa zbliża się do poprawnego rozwiązania.

Na samym początku wyznaczamy wektor początkowy, u nas to będzie wektor

$$z^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Dla tego wektora obliczamy wektor, na którym my będziemy mieli nasze przybliżone wartości własne

$$w^{(i)} = Az^{(i)} = \begin{bmatrix} 8 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 6 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Teraz musimy znaleźć największą wartość własną, czyli największą wśród wartości wektora

$$\lambda^{(i)} = \max_j |w_j^{(i)}|$$

Wyliczamy błąd iteracji według wzoru

$$e^i = ||w^{(i)} - \lambda^{(i)} z^{(i)}||$$

Jest on nam potrzebny dla monitorowania w którym momencie algorytm musi się zatrzymać.

Na końcu wyliczamy wektor Z dla kolejnej iteracji:

$$z^{(i+1)} = w^{(i)} / \lambda^{(i)}$$

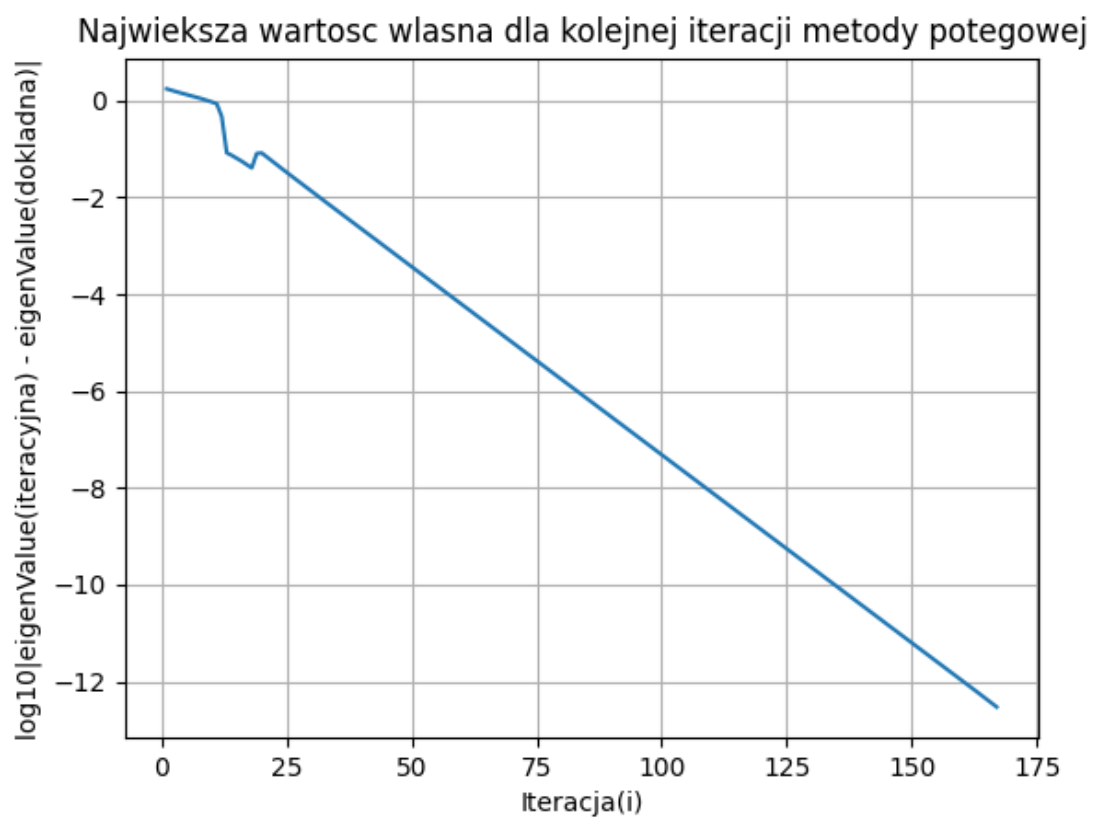
Powtarzamy to dopóki

$$e^{(i)} > \epsilon$$

Wyniki

Dany wykres jest zrobiony dla wektoru startowego

$$z^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



Następny wykres dla wektoru startowego

$$z^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



Z drugiego wykresu widać, że dla metody potęgowej istotnym może być wybór wektoru startowego, co w naszym eksperymencie widocznie zmniejszyło ilość iteracji dla osiągnięcia potrzebnego nam wyniku. Dla przyspieszenia zbieżności wartości własnej możemy wybrać również inne wektory, które mogą zmniejszyć ilość iteracji dla obliczenia dokładnej wartości największej wartości własnej macierzy M .

Największa wartosc wlasna obliczona metoda iteracyjna:

9.742393758888628

Największa wartosc wlasna obliczona metoda biblioteczna:

9.742393758888332

Ustaliśmy, że dokładność wyniku musi być do 12 miejsca po przecinku, widzimy z wyniku, że wartości odpowiadają oczekiwanią.

(b) Algorytm QR bez przesunięć:

Stosując algorytm QR bez przesunięć, celem jest znalezienie wszystkich wartości własnych macierzy M . Badanie ma na celu zilustrowanie ewolucji macierzy A_i , które

są generowane w kolejnych iteracjach algorytmu QR. Analizujemy, jak macierze A_i upodabniają się do macierzy trójkątnej górnej, a także jak elementy diagonalne tych macierzy ewoluują w funkcji indeksu iteracji.

W trakcie implementacji algorytmu QR dla znalezienia wszystkich wartości własnych korzystaliśmy z metod bibliotecznych numpy dla znalezienia rozkładu QR oraz dla dodawania i mnożenia macierzy. Algorytm jest zaimplementowany według następnego pomysłu:

Mamy rozkład QR, gdzie

$$\begin{aligned} A_1 &= A \\ A_1 &= Q_1 R_1 \\ A_2 &= R_1 Q_1 = Q_2 R_2 \\ A_3 &= R_2 Q_2 = Q_3 R_3 \end{aligned}$$

Kontynuując podany rozkład możemy doprowadzić go do postaci

$$\begin{aligned} A_i &= Q_i R_i \\ A_{i+1} &= R_i Q_i = Q_i^T Q_i R_i Q_i \Rightarrow A_{i+1} = Q_i^T A_i Q_i \end{aligned}$$

Z ostatniego wynika, że wartości na diagonalu macierzy A są naszymi wartościami własnymi w kolejnej iteracji.

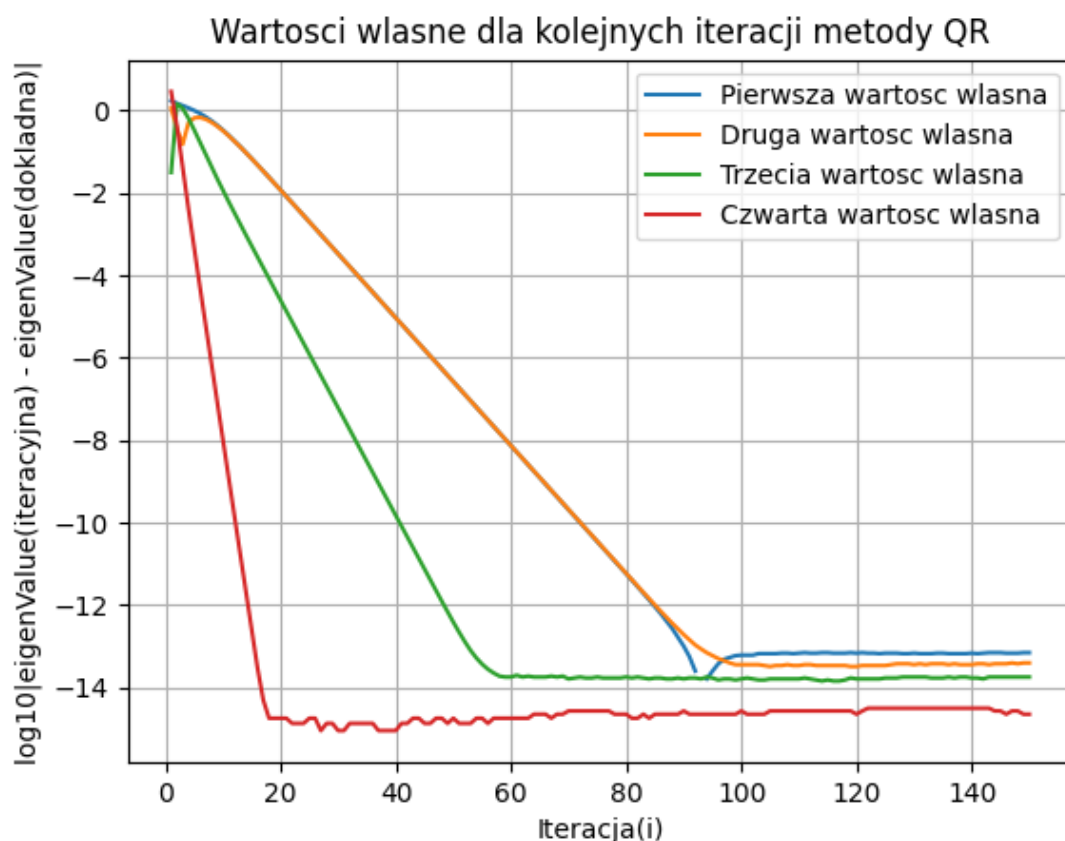
Rozpiszemy sobie teraz ostatni wyraz według podanej rekurencji, otrzymamy

$$\begin{aligned} A_{i+1} &= Q_i^T A_i Q_i = Q_i^T Q_{i-1}^T A_{i-1} Q_{i-1} Q_i = Q_i^T Q_{i-1}^T Q_{i-2}^T A_{i-2} Q_{i-2} Q_{i-1} Q_i \\ A_{i+1} &= Q_i^T Q_{i-1}^T Q_{i-2}^T \dots Q_1^T A_1 Q_1 \dots Q_{i-2} Q_{i-1} Q_i \\ \text{Niech } P_i^T &= Q_i^T Q_{i-1}^T Q_{i-2}^T \dots Q_1^T \quad i \quad P_i = Q_1 \dots Q_{i-2} Q_{i-1} Q_i \\ \text{Wtedy } A_{i+1} &= P_i^T A P_i \end{aligned}$$

Widzimy teraz, że dla obliczenia kolejnych iteracji potrzebujemy jedynie macierzy Q oraz jej transponowania, zgodnie z tym i będziemy obliczać nasze wartości własne, które jak już wiemy są położone na diagonalu macierzy A .

Wyniki

Poniżej podaje zbieżność różnicy między dokładnym znaczeniem wartości własnych i ich przybliżeniem w kolejnych iteracjach.



****Wykres niebieski znajduje się pod wykresem pomarańczowym do 90 iteracji**

Wektor własny macierzy M obliczony metoda QR:

$$\begin{bmatrix} 9.74239376e+00 & 1.11807596e-11 & -1.73604061e-17 & 3.76755119e-16 \\ 1.11809747e-11 & 8.14771771e+00 & 1.03408517e-16 & 5.23015418e-17 \\ 6.24935368e-17 & 7.25302222e-17 & 6.03172371e+00 & -1.61241114e-16 \\ 9.21724562e-16 & 5.56040656e-17 & -1.45691606e-16 & 2.07816482e+00 \end{bmatrix}$$

Z wykresu oraz wyniku wnioskujemy, że od pewnego momentu wartości poza diagonalą stają się tak małe, że już nie są w stanie korygować wartości własne i błąd obliczeniowy dla różnych wartości wynosi od $10e-13$ do $10e-15$, co jest zgodne z naszym epsilon, który ustaliliśmy. Już na tym etapie jesteśmy w stanie stwierdzić, że metoda QR pokazuje lepsze wyniki niż metoda potęgowa dla danej macierzy.

Wektor własny macierzy M obliczony metoda biblioteczna:

$$[9.74239376 \ 8.14771771 \ 6.03172371 \ 2.07816482]$$

Dla bibliotecznej reprezentacji liczb(8 miejsc po przecinku) wartości są sobie równe. W rzeczywistości z wykresów widzimy, że błąd obliczeń występuje po 13-15 miejscu po przecinku.

Przesunięcie Wilkinsona

Dodatkowo chciałbym omówić metoda przyspieszenia metody QR, która nazywa się przesunięciem Wilkinsona, która polega na przesunięciu macierzy o pełny skalar p , który trzeba odpowiednio dostosować do naszego przypadku. Okazuje się, że dla widocznego przyspieszenia szybkości działania naszej metody p musi być równe wartości własnej macierzy B

$$\begin{bmatrix} 6 & 3 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$$

Która jest częścią macierzy M i znajduje się w dolnym prawym jej rogu. Wartość własna tej macierzy, która znajduje się na pozycji $B[2][2]$ (przy iteracji od 1) i będzie potrzebną nam wartością p .

Autor

Maksym Yankovenko