Projekt 2 - sprawozdanie

Sebastian Deręgowski
Dawid Janus
grupa 1

12 stycznia 2021

Spis treści

1 Temat i treść zadania

Rozwiązywanie układu równań liniowych $Ax = b$ blokową metodą Jacobiego, gdzie $A(n \times n)$ jest macierzą postaci

$$A = \begin{pmatrix} I & A_{12} & A_{13} \\ A_{12}^T & -A_{22} & A_{23} \\ 0 & A_{23}^T & A_{22} \end{pmatrix},$$

gdzie $A_{ij}(p \times p)$, I jest macierzą jednostkową i $n = 3p$.
Do rozwiązywania układów równań $p \times p$ zastosować metodę eliminacji Gaussa z częściowym wyborem elementu głównego.

2 Opis metody

2.1 Blokowa metoda Jacobiego

Macierz blokowa $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ to macierz postaci:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix},$$

której elemenatami są macierze A_{ij}, $i, j \in \{1, 2, .., n\}$, takie, że suma kolumn macierzy w każdym wierszu macierzy A oraz suma wierszy macierzy w każdej kolumnie macierzy A jest równa n.

Dla układów równań postaci $Ax = b$ można dokonać analogicznego podziału wektorów x i b na bloki odpowiadające rozmiarom blokom składającym się na macierz A.

Metoda Jacobiego zakłada określenie danego przybliżenia początkowego $x^{(0)} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$. Kolejne przybliżenia wektora $x^{(k+1)}$ wyznaczamy obliczają dla każdego wiersza macierzy A:

$$A_{11}x_1^{(k+1)} = b_1 - \sum_{i=1, i\neq 1}^{n} A_{1i}x_i^{(k)}$$

$$A_{22}x_2^{(k+1)} = b_2 - \sum_{i=1, i\neq 2}^{n} A_{2i}x_i^{(k)}$$

$$A_{nn}x_1^{(k+1)} = b_n - \sum_{i=1, i\neq n}^{n} A_{ni}x_i^{(k)}.$$

Z racji na to, że współczynnikiem przy wektorze $x_i^{(k+1)}$, $i \in \{1, 2, .., n\}$ jest macierz, nie możemy podzielić równań stronami, aby otrzymać składowe wektora $x^{(k+1)}$. Zamiast tego rozwiązujemy te równania metodą eliminacji Gaussa z częściowym wyborem elementu, która jest opisana w następnym podrozdziale.

2.2 Metoda eliminacji Gaussa z częściowym wyborem elementu głównego (GEPP)

GEPP (Gauss Elimination with Partial Pivoting) jest wariantem eliminacji Gaussa, w której k-ty krok eliminacji poprzedzony jest wyborem elementu głównego, czyli takiego indeksu p, że:

$$|a_{pk}^{(k-1)}| = \max_{i=k,\dots,n} |a_{ik}^{(k-1)}|.$$

Następnie zamieniamy wiersze p-ty i k-ty w macierzy $(A^{(k-1)}|b^{(k-1)})$.

3 Opis programu obliczeniowego

Program obliczeniowy składa się z pięciu funkcji, które zostały opisane poniżej, oraz skryptu z przykładami, który został szczegółowo omówiony w następnym rozdziale.

3.1 `gepp(A,b)`

Ta funkcja to algorytm eliminacji Gaussa z częściowym wyborem, który został opisany w poprzednim rozdziale. Funkcja przyjmuje jako argumenty macierz `A` o wymiarach $n \times n$ oraz wektor wyrazów wolnych `b` o wymiarach $1 \times n$. W przypadku podania nieprawidłowych danych wejściowych, funkcja wyrzuca błąd. Funkcja zwraca wektor rozwiązań `x` o wymiarach $1 \times n$.

3.2 `jacobi(A12,A13,A22,A23,b,x0)`

Funkcja służy do obliczenia kolejnego przybliżenia wektora rozwiązań metodą Jacobiego. Jako argumenty przyjmuje 4 macierze o wymiarach $p \times p$, a także wektor wyrazów wolnych `b` i wektor przybliżenia początkowego `x0` o wymiarach $1 \times p$. W przypadku niepodania ostatniego argumentu, domyślną wartością jest wektor zerowy. Funkcja zwraca wektor `x1` o wymiarach $1 \times p$.

3.3 `iteracja(A12,A13,A22,A23,b,eps)`

Główna funkcja programu. Jako argumenty przyjmuje 4 macierze o wymiarach $p \times p$, a także wektor wyrazów wolnych `b` i dokładność przybliżenia `eps`. W przypadku podania nieprawidłowych danych wejściowych, funkcja wyrzuca błąd. Warunkiem stopu jest różnica kolejnych przybliżeń mniejsza od `eps` lub liczba iteracji większa niż 1000. Funkcja zwraca `xk1` - wektor rozwiązań równania podanego w zadaniu oraz `i` - liczbę iteracji uzyskaną do momentu osiągnięcia warunku stopu.

3.4 `checkpoint(A12,A13,A22,A23)`

Funkcja sprawdzająca, służąca do obliczenia dodatkowych parametrów wymaganych w zadaniu. Jako argumenty przyjmuje 4 macierze o wymiarach $p \times p$. Funkcja zwraca `B` - macierz iteracji dla macierzy blokowej A podanej w zadaniu, `rho` - promień spektralny macierzy oraz `cond` - wskaźnik uwarunkowania macierzy.

3.5 `zamiana(A12,A13,A22,A23)`

Funkcja pomocnicza służąca do zamiany macierzy blokowej na macierz jednolitą podaną w zadaniu. Jako argumenty przyjmuje cztery macierze o wymiarach $p \times p$. W przypadku podania nieprawidłowych danych wejściowych, funkcja wyrzuca błąd. Funkcja zwraca `A` - macierz o wymiarach $n \times n$ określoną w zadaniu.

4 Przykłady obliczeniowe

4.1 Przykład nr 1

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 0.5 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 3 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\mathrm{b} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0   -1.0000   -0.5000
    0.3333         0    0.3333
         0   -0.3333         0
```

Promień spektralny:

$$\mathrm{rho} = 0.6676$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\mathrm{cond} = 5.600$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

    0.9999
   -0.2000
    0.4000
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

    1.0000
   -0.2000
    0.4000
```

Liczba iteracji:

$$\mathrm{k} = 23$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 1.2015 \cdot 10^{-4}$$

4.2 Przykład nr 2

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 4 & 5 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 2 & 8 \\ 7 & 3 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 60 & -2 \\ -3 & 60 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\text{b}= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0   -1.0000   -3.0000   -2.0000   -8.0000
         0         0   -4.0000   -5.0000   -7.0000   -3.0000
    0.0167    0.0667         0    0.0333    0.0500    0.0667
    0.0500    0.0833    0.0500         0    0.0833    0.1000
         0         0   -0.0500   -0.0833         0    0.0333
         0         0   -0.0667   -0.1000    0.0500         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 0.9446$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 94.0896$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

   -0.0631
    0.9094
    0.0213
    0.0240
    0.0836
    0.1004
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

   -0.0633
    0.9089
    0.0212
    0.0240
    0.0836
    0.1004
```

Liczba iteracji:

$$k = 216$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 5.3528 \cdot 10^{-4}$$

4.3 Przykład nr 3

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 15 & 0.5 \\ 0.5 & 12 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\text{b}= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0   -0.3000   -0.4000   -0.2000   -0.3000
         0         0   -0.5000   -0.5000   -0.5000   -0.5000
    0.0200    0.0333         0   -0.0333    0.0333    0.0333
    0.0333    0.0417   -0.0417         0    0.0833    0.0833
         0         0   -0.0333   -0.0667         0   -0.0333
         0         0   -0.0417   -0.0833   -0.0417         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 0.2801$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 18.9002$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

    0.9299
    1.8689
    0.0196
    0.0415
    0.1275
    0.0738
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

    0.9299
    1.8689
    0.0196
    0.0415
    0.1275
    0.0738
```

Liczba iteracji:

$$\mathrm{k} = 9$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 7.1821 \cdot 10^{-6}$$

4.4 Przykład nr 4

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1 & 4 & 2.5 \\ 2 & 3 & 2.3 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1.8 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2.7 & 3 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 80 & -2 & 6 \\ -3 & 80 & 5 \\ 2 & 7 & 80 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 2 & 5 & 6 \\ 2 & 7 & 3 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\mathrm{b}= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0         0   -1.0000   -3.0000   -4.0000   -2.0000   -3.0000   -1.8000
         0         0         0   -1.0000   -4.0000   -2.5000   -2.0000   -3.0000   -2.0000
         0         0         0   -2.0000   -3.0000   -2.3000   -1.0000   -2.7000   -3.0000
    0.0125    0.0125    0.0250         0    0.0250   -0.0750    0.0375    0.0500    0.0875
    0.0375    0.0500    0.0375    0.0375         0   -0.0625    0.0250    0.0625    0.0750
    0.0500    0.0313    0.0287   -0.0250   -0.0875         0    0.0250    0.0875    0.0375
         0         0         0   -0.0375   -0.0250   -0.0250         0    0.0250   -0.0750
         0         0         0   -0.0500   -0.0625   -0.0875    0.0375         0   -0.0625
         0         0         0   -0.0875   -0.0750   -0.0375   -0.0250   -0.0875         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 0.9236$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 135.1177$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

    0.0480
    0.9837
    2.0502
    0.0300
    0.0796
    0.0226
    0.0790
    0.0887
    0.0933
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

    0.0484
    0.9841
    2.0505
    0.0300
    0.0796
    0.0226
    0.0790
    0.0887
    0.0933
```

Liczba iteracji:

$$\text{k} = 69$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 2.0211 \cdot 10^{-4}$$

4.5 Przykład nr 5

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 1.5 & 2 \\ 1.33 & 2 & 1.5 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 1.66 & 2.5 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 20 & -2 & 1 \\ -1.5 & 23 & 2 \\ 1 & 1.33 & 31 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 1.33 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1.5 & 1 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\text{b}= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0         0   -1.0000   -1.5000   -2.0000   -1.6600   -2.5000   -1.0000
         0         0         0   -1.3300   -2.0000   -1.5000   -2.0000   -1.0000   -2.0000
         0         0         0   -1.0000   -1.0000   -2.0000   -1.0000   -2.0000   -1.5000
    0.0500    0.0665    0.0500         0    0.1000   -0.0500    0.0665    0.1000    0.0500
    0.0652    0.0870    0.0435    0.0652         0   -0.0870    0.0435    0.0435    0.0435
    0.0645    0.0484    0.0645   -0.0323   -0.0429         0    0.0645    0.0484    0.0323
         0         0         0   -0.0665   -0.0500   -0.1000         0    0.1000   -0.0500
         0         0         0   -0.0870   -0.0435   -0.0652    0.0652         0   -0.0870
         0         0         0   -0.0323   -0.0323   -0.0323   -0.0323   -0.0429         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 0.9328$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 55.1201$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

   -0.5659
    0.6094
    1.6904
   -0.0351
   -0.0831
   -0.0362
    0.3826
    0.3586
    0.2676
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

  -0.5666
   0.6087
   1.6898
  -0.0352
  -0.0832
  -0.0363
   0.3826
   0.3586
   0.2676
```

Liczba iteracji:

$$k = 96$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 9.7919 \cdot 10^{-6}$$

4.6 Przykład nr 6

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.5 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 \\ 1 & 0.3 & 0.7 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.7 & 0.4 \\ 0.5 & 0.1 & 0.2 \\ -0.1 & 0.2 & -0.6 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} -4 & 0.2 & 1 \\ 0.5 & 6 & 0.4 \\ -0.1 & 0.3 & -6 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.4 \\ 0.9 & 0.8 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\text{b=} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0         0   -0.6000   -0.5000   -0.2000   -0.6000   -0.7000   -0.4000
         0         0         0   -0.4000   -0.2000   -0.5000   -0.5000   -0.1000   -0.2000
         0         0         0   -1.0000   -0.3000   -0.7000    0.1000   -0.2000    0.6000
   -0.1500   -0.1000   -0.2500         0    0.0500    0.2500   -0.0750   -0.0500   -0.1000
    0.0833    0.0333    0.0500   -0.0833         0   -0.0667    0.1500    0.1333    0.0500
   -0.0333   -0.0833   -0.1167   -0.0167    0.0500         0   -0.0333   -0.0833   -0.0667
         0         0         0    0.0750    0.2250    0.0500         0    0.0500    0.2500
         0         0         0   -0.0333   -0.1333   -0.0833   -0.0833         0   -0.0667
         0         0         0    0.0667    0.0500    0.0667   -0.0167    0.0500         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 0.6576$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 29.9476$$

Wynik metody blokowiej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

    1.6144
    2.8136
    0.9323
    0.5586
   -0.8095
    0.5768
   -2.1162
    1.6408
   -1.3475
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

    1.6144
    2.8136
    0.9322
    0.5586
   -0.8094
    0.5768
   -2.1162
    1.6408
   -1.3475
```

Liczba iteracji:

$$\text{k} = 27$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 7.0749 \cdot 10^{-6}$$

4.7 Przykład nr 7

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 7 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 5 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 4 \\ 3 & 4 & 4 \\ 7 & 4 & 3 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$\text{b= } \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}^T$$

Macierz Iteracji:

```
B =

         0         0         0   -4.0000   -2.0000   -1.0000   -2.0000   -2.0000   -1.0000
         0         0         0   -1.0000   -1.0000   -2.0000   -2.0000   -1.0000   -2.0000
         0         0         0   -2.0000   -1.0000   -7.0000   -1.0000   -2.0000   -5.0000
    2.0000    0.5000    1.0000         0   -1.5000   -1.5000    1.5000    2.0000    2.0000
    1.0000    0.5000    0.5000   -1.5000         0   -1.5000    1.5000    2.0000    2.0000
    0.5000    1.0000    3.5000   -1.5000   -1.5000         0    3.5000    2.0000    1.5000
         0         0         0   -1.5000   -1.5000   -3.5000         0   -1.5000   -1.5000
         0         0         0   -2.0000   -2.0000   -2.0000   -1.5000         0   -1.5000
         0         0         0   -2.0000   -2.0000   -1.5000   -1.5000   -1.5000         0
```

Promień spektralny:

$$\text{rho} = 8.8499$$

Wskaźnik uwarunkowania:

$$\text{cond} = 294.7314$$

Wynik metody blokowej Jacobiego:

Macierz jest rozbieżna dla podanych argumentów.

4.8 Przykład nr 8

Bloki A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}:

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1.5 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1.5 & 1.5 & 2 \\ 1 & 3 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 1.5 & 1.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 40 & 1 & 1 & 1.5 & 1.5 \\ 0 & 40 & 1 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 40 & 3 & 2 \\ 1.5 & 1 & 2 & 40 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & -40 \end{pmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{pmatrix} 0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2 \\ 1 & 1 & 1.5 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1.5 \\ 2 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1.5 & 2 & 1.5 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Wektor wyrazów wolnych:

$$b = (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 1\ 2\ 3\ 5\ 6)^T$$

Macierz Iteracji:

Macierz Iteracji jest za duża, aby pokazać ją w sprawozdaniu.
Można ją zobaczyć w matlabie po uruchomieniu skryptu *przyklady.m.*

Promień spektralny:

rho = 0.7341

Wskaźnik uwarunkowania:

cond = 91.8768

Wynik metody blokowej Jacobiego:

```
otrzymany_wektor_rozwiazan =

    0.2766
    1.9161
    3.1785
    3.4942
    3.6120
    0.2646
    0.2669
    0.1795
   -0.0635
   -0.5020
    0.0609
    0.0769
    0.0977
    0.1101
   -0.1088
```

Realny wektor rozwiązań:

```
prawdziwe_rozwiazanie =

    0.2766
    1.9161
    3.1785
    3.4942
    3.6119
    0.2646
    0.2669
    0.1795
   -0.0635
   -0.5020
    0.0609
    0.0769
    0.0977
    0.1101
   -0.1088
```

Liczba iteracji:

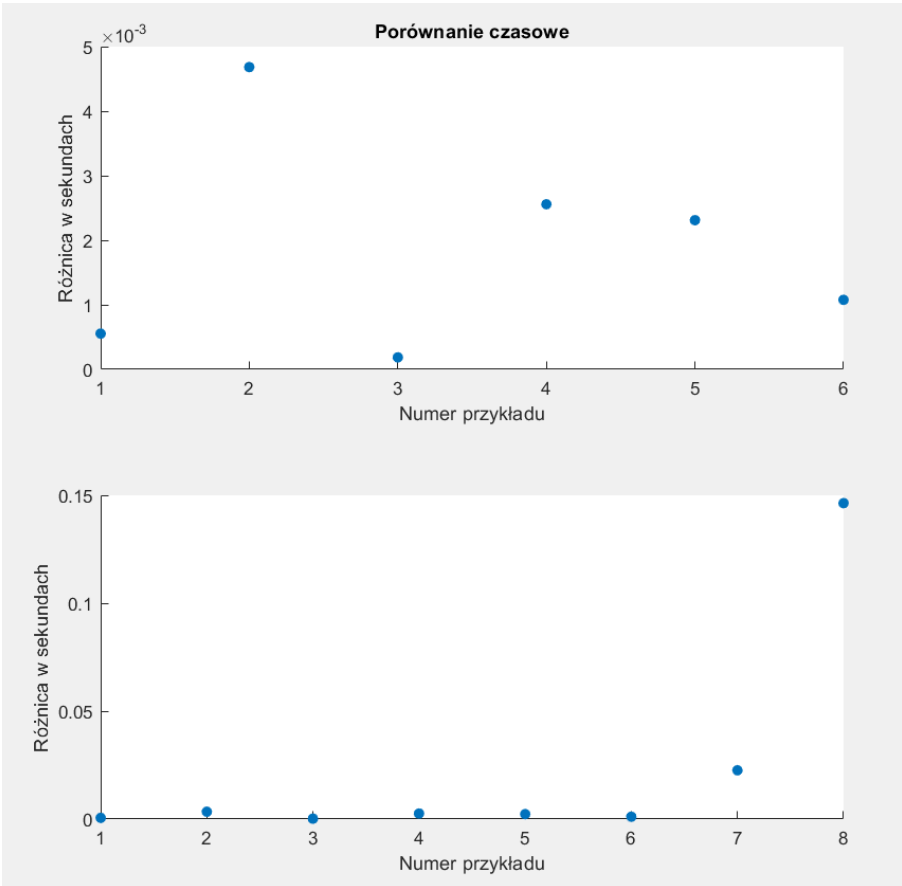
$$k = 33$$

Błąd względny rozwiązania:

$$x = 9.7919 \cdot 10^{-6}$$

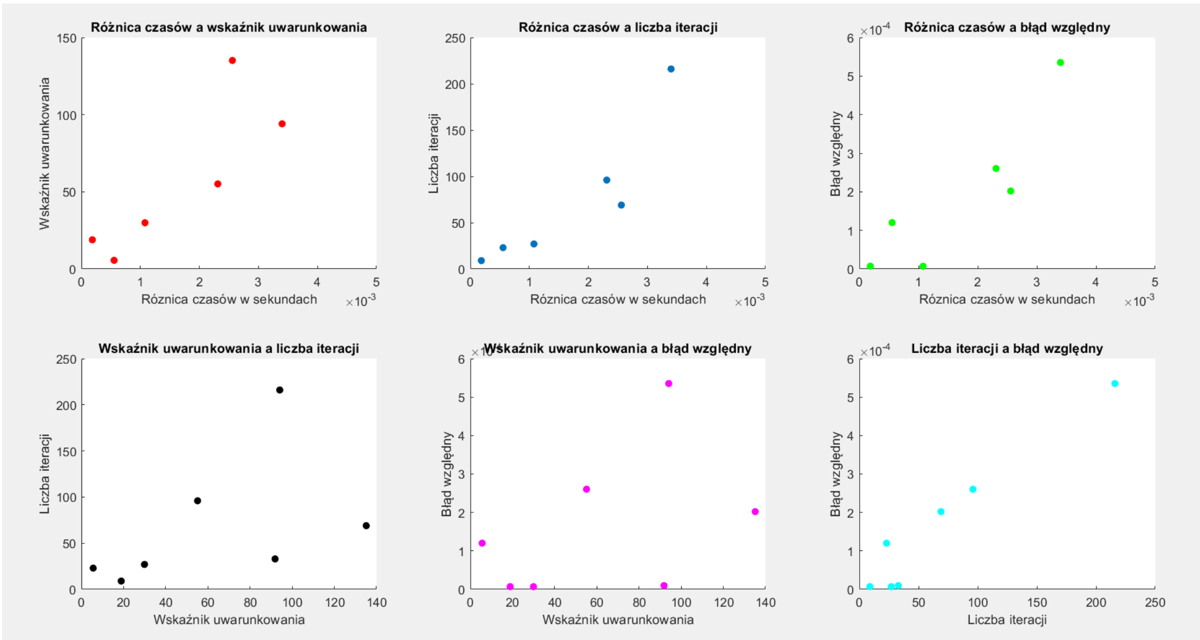
5 Analiza wyników obliczeniowych

Korzystając z funkcji `tic...toc` zmierzyliśmy czasy wykonywania naszego programu. Następnie przy pomocy funkcji `zamiana()` dokonaliśmy złączenia bloków macierzy w jedną wspólną macierz i obliczyliśmy wektory rozwiązań standardową metodą `A`. Porównaliśmy wyniki obu tych algorytmów i we wszystkich przypadkach szybciej wypadła metoda standardowa.



Dla pierwszych sześciu przykładów są to różnice rzędu 10^{-3}, ale dla siódmego (metoda Jacobiego rozbieżna) i ósmego (bloki rzędu 5×5), różnice zaczynają sięgać dziesiątych części sekundy. Wydaje nam się, że wynika to głównie z konieczności użycia metody GEPP w naszym algorytmie. Funkcja `gepp()` jest rzędu $O(n^2)$, co przy większych macierzach skutkuje dużo większym czasem potrzebnym do wykonania zadania tą metodą.

Poza tym postanowiliśmy porównać wszystkie czynniki, od których uwarunkowana jest szybkość wykonywania naszego programu. W tym celu zbadaliśmy parami zależności pomiędzy różnicą czasów, liczbą iteracji, wskaźnikiem uwarunkowania oraz błędu względnego wyników.



Różnica czasów rośnie proporcjonalnie do wskaźnika uwarunkowania, liczby iteracji oraz błędu względnego. Nie ma jednoznacznej zależności pomiędzy wskaźnikiem uwarunkowania a liczbą iteracji oraz błędem względnym. Liczba iteracji jest proporcjonalna do błędu względnego.

6 Bibliografia

1. *https://www.mathworks.com/help/matlab/* [dostęp: 2021-01-12]

2. *https://pl.wikipedia.org/* [dostęp: 2021-01-12]

3. *http://www.mini.pw.edu.pl/(tylda)iwrobel/MADMN_zima_2 20-21/* [dostęp chroniony hasłem: 2021-01-12]

4. notatki zamieszczone na kanale zajęć na Microsoft Teams [dostęp chroniony hasłem: 2021-01-12]