

# Pracownia z analizy numerycznej

## Sprawozdanie do zadania **P2.20**. Redukcja macierzy metodą Gaussa

Prowadzący: dr Witold Karczewski

Aleksander Balicki, nr indeksu: 220989  
Dominika Rogozińska, nr indeksu: 221094

Wrocław, 5~grudnia 2010r.

### 1. Wstęp

Metodę Gaussa redukcji macierzy wykorzystuje się do rozwiązywania takich problemów jak znajdowanie macierzy odwrotnej, obliczanie rzędu macierzy, a także rozwiązywanie układów równań z wieloma niewiadomymi. Efektywność tej metody zależy od szczegółów implementacji i modyfikacji algorytmu oraz wskaźnika uwarunkowania macierzy. Poniżej zostały zaprezentowane wyniki otrzymane dla eliminacji Gaussa bez i z następującymi modyfikacjami: wybór największego(co do modułu) « « « « reduktora » » » » z wiersza, z kolumny, z podmacierzy(wybór pełny). Badania zostały przeprowadzone dla kilku rodzajów macierzy: macierzy Hilberta, macierzy Pei, macierzy losowej z dominującą przekątną oraz macierzy oraz macierzy losowej, w której większość elementów należy do przedziału  $(-1, 1)$ , a kilka jest wybranych z zakresu  $(-1000, 1000)$ .

### 2. Definicje

**Definicja 1.** Macierzą o wymiarach  $m \times n$  (macierzą o  $m$  wierszach i  $n$  kolumnach), nad ciałem  $K$  nazywamy każdą funkcję typu  $\{1, \dots, m\} \times \{1, \dots, n\} \rightarrow K$ .

Interesują będą nas macierze o rozmiarach  $n \times n$ , które przedstawiają układy  $n$  równań z  $n$  niewiadomymi. Przykładowymi danymi do badań sposobów rozwiązania takich układów były macierze rzędu  $n$ , które są nieosobliwe, więc układy te zawsze mają rozwiązanie. Macierz zapisujemy w następujący sposób:

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix}$$

Weźmy przykładowy układ równań:

$$\begin{cases} a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \cdots + a_{1,n}x_n = b_1 \\ a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \cdots + a_{2,n}x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{n,1}x_1 + a_{n,2}x_2 + \cdots + a_{n,n}x_n = b_n \end{cases}$$

Z tym układem wiążemy macierz układu  $A$  oraz wektor wyrazów wolnych  $b$ :

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

**Definicja 2.** *Macierzą Hilberta nazywamy macierz  $n \times n$ , w której*

$$a_{i,j} = \frac{1}{i+j-1}$$

**Definicja 3.** *Macierzą Pei nazywamy macierz  $n \times n$ , w której*

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1 & i \neq j \\ d & i = j \end{cases}$$

gdzie  $d$  jest parametrem.

**Definicja 4.** *Macierzą o dominującej przekątnej nazywamy macierz, w której*

$$\bigwedge_i \sum_{j \neq i} |a_{i,j}| \leq |a_{i,i}|$$

**Definicja 5.** *Normę maksimum dla wektora  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  definiujemy jako*

$$\|x\|_{\infty} = \max\{|x_i| : i = 1, 2, \dots, n\}$$

Normy maksimum użyjemy jako wskaźnika numerycznej poprawności metody Gaussa, porównując wartości  $\|b - A\tilde{x}\|_{\infty}$  dla wszystkich prób.

### 3. Metoda eliminacji Gaussa

Metoda ta została stworzona przez Carla Friedricha Gaussa. Daje ona algorytm do rozwiązywania układu równań liniowych, obliczenia rzędu macierzy i znalezienia macierzy odwrotnej do danej. Algorytm składa się z 2 kroków, najpierw doprowadzamy macierz do postaci schodkowej, a następnie znajdujemy wynik układu poprzez podstawienie w tył (funkcja back substitution). W metodzie Gaussa stosujemy się 3 operacje elementarne na wierszach macierzy. Te operacje to:

1. Zamiana kolejności wierszy
2. Pomnożenie wszystkich wartości w wierszu przez niezerowy skalar  $\lambda$
3. Dodanie do dowolnego wiersza kombinacji liniowej pozostałych wierszy

Operacje elementarne mają ciekawe własności, mianowicie:

- Nie zmieniają rzędu macierzy
- Dowolną macierz można za pomocą skończonej liczby kroków doprowadzić do macierzy w postaci schodkowej

- 3.1. Metoda eliminacji Gaussa bez wyboru elementów głównych
- 3.2. Metoda eliminacji Gaussa z wyborem elementów głównych z wiersza
- 3.3. Metoda eliminacji Gaussa z wyborem elementów głównych z kolumny
- 3.4. Metoda eliminacji Gaussa z pełnym wyborem elementów głównych(z podmacierzy)

Nasz algorytm zauważył zero na pozycji  $Z_{1,1}$ . Zamieni pierwszy wiersz z drugim. Uzna, że wartość  $Z_{1,1}$  jest niezerowa i przejdzie do następnego kroku. W trakcie algorytmu wykonano się dzielenie  $45/0.00000000000001$ . Wiemy, z [2], że przy dzieleniu przez liczby bliskie zeru następuje utrata cyfr dokładnych wyniku. Algorytm zachowywałby się zdecydowanie lepiej, jeżeli dzielilibyśmy przez większą liczbę. Algorytm wyboru elementu głównego w kolumnie:

```
for k from 1 to N-1
    znajdź wiersz, w którym jest maksymalna wartość  $|M[i,k]|$  dla wszystkich  $i > k$ 
    zamień wiersz z tą maksymalną wartością z k-tym wierszem
    for i from k+1 to N
        odejmij od i-tego wiersza k-ty wiersz  $(M[i,k]/M[k,k])$  razy
zwróć ilość niezerowych wierszy
```

Można też szukać elementu o największym module w całej podmacierzy, wydłuża to czas obliczeń, ale poprawia własności numeryczne. Algorytm z wyborem pełnym:

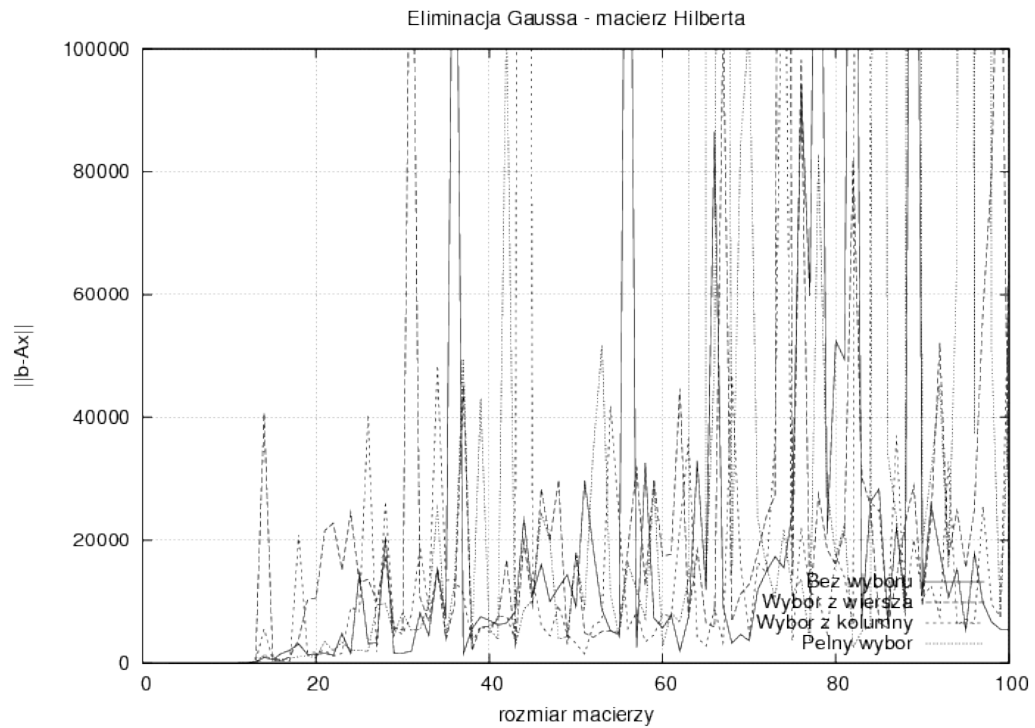
```
for k from 1 to N-1
    znajdź i,l takie, że  $|M[i,l]|$  jest maksymalne dla wszystkich  $i > k, l > k$ 
    zamień l-tą kolumnę z k-tą kolumną
    zamień i-ty wiersz z k-tym wierszem
    zamień wiersz z tą maksymalną wartością z k-tym wierszem
    for i from k+1 to N
        odejmij od i-tego wiersza k-ty wiersz  $(M[i,k]/M[k,k])$  razy
zwróć ilość niezerowych wierszy
```

## 4. Program

Program testujący jest napisany w języku C++. Użyto typu podwójnej precyzji (double). Wyniki zostały zapisane jako plik z rozszerzeniem .csv, a następnie opracowane graficznie za pomocą programu gnuplot.

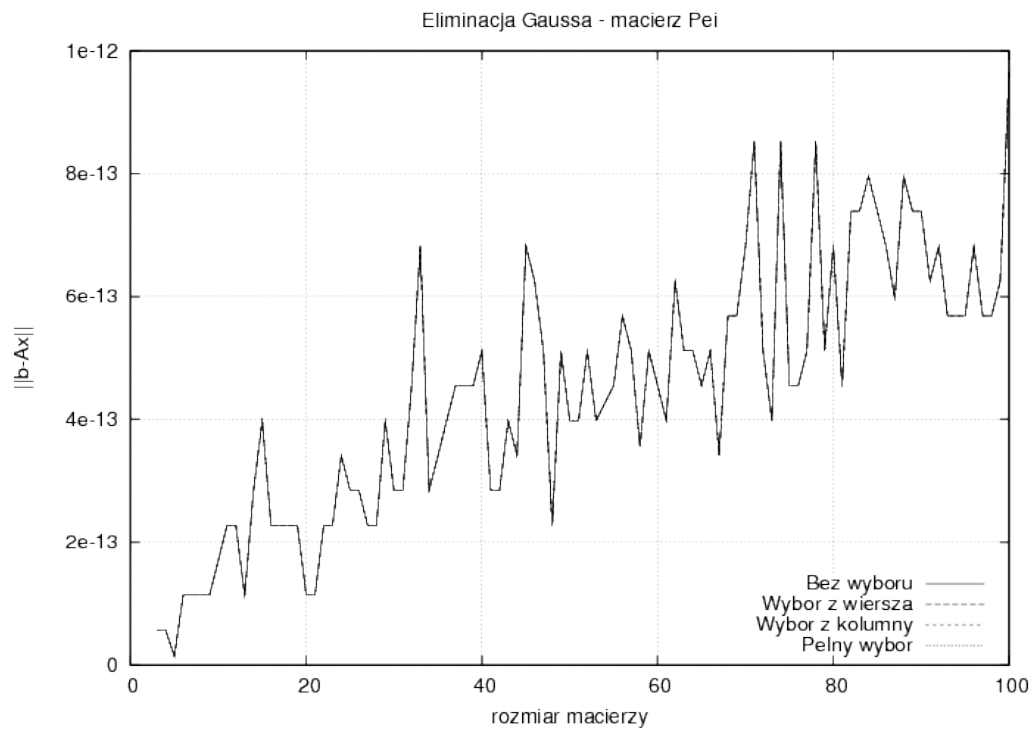
## 5. Wyniki prób

### 5.1. Macierz Hilberta



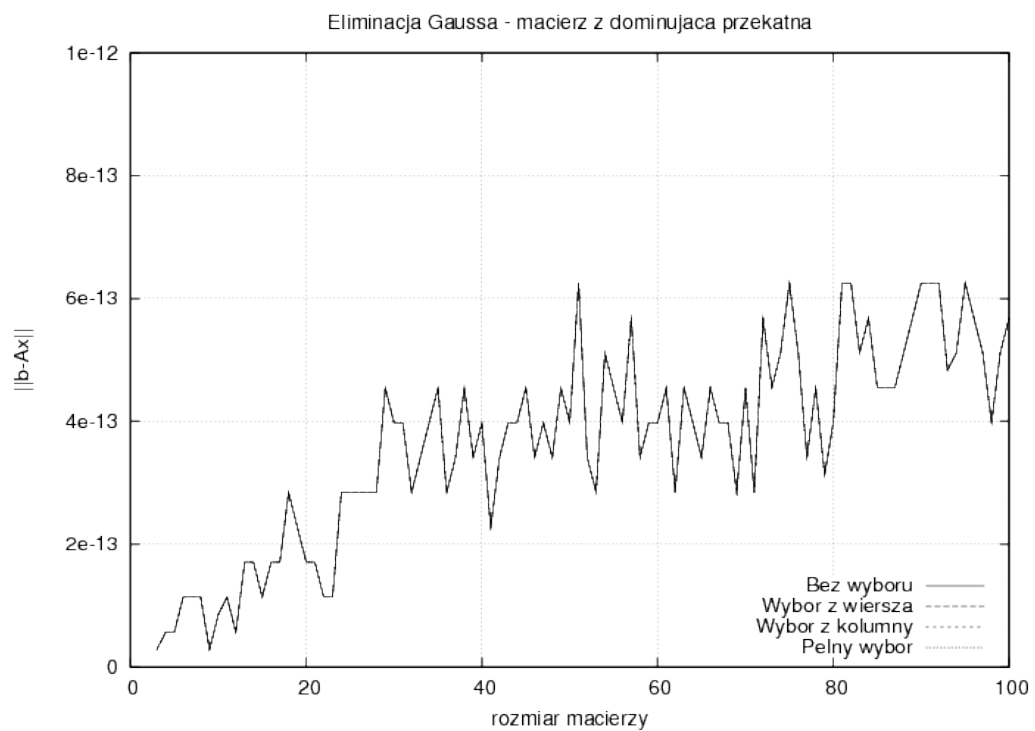
Źle uwarunkowana, leci w kosmos. Wykres nie obejmuje całego zakresu.

## 5.2. Macierz Pei



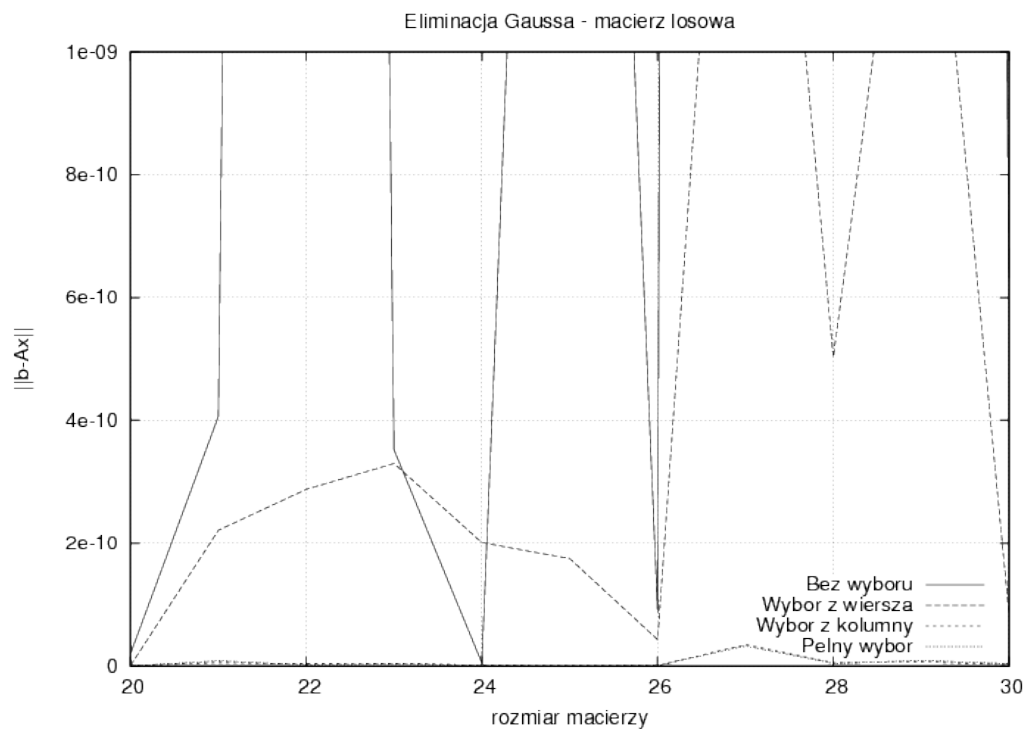
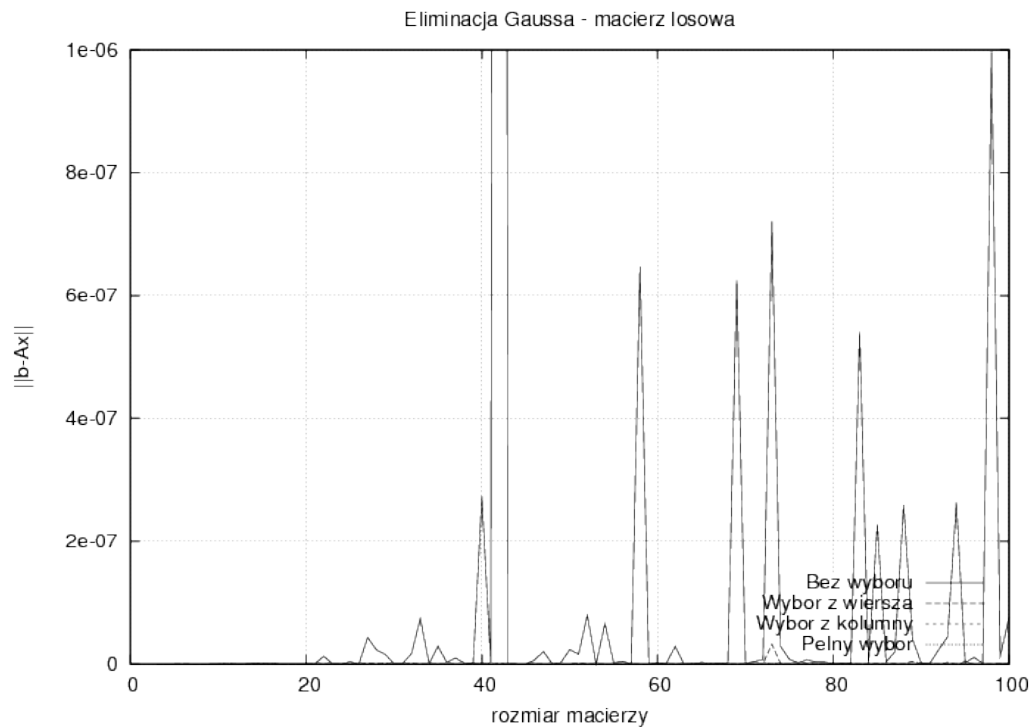
Dobrze uwarunkowana, wygląda tak samo dla każdej modyfikacji algorytmu -i, na przekątnej są największe liczby i są równe.

## 5.3. Macierz z dominującą przekątną



Dobrze uwarunkowana, dla metody bez modyfikacji i wyboru z wiersza(po którym zmieniamy kolumny) nie za dobrze, dla wyboru z kolumn i full lepiej i prawie tak samo.

#### 5.4. Macierz losowa



## 6. Wnioski

### Literatura

- [1] Notatki z wykładu Algebra Emanuela Kierońskiego
- [2] Notatki z wykładu Analiza Numeryczna Stanisława Lewanowicza
- [3] Kincaid David, Cheney Ward, Analiza numeryczna
- [4] J. M. Jankowscy, Przegląd metod i algorytmów numerycznych
- [5] <http://wolframalpha.com/>
- [6] <http://en.wikipedia.org/>
- [7] <http://wazniak.mimuw.edu.pl/>