

Obliczenia Naukowe Lista 2 Laboratoria

Piotr Szyma

1 listopada 2017

1 Zadanie 1

1.1 Opis problemu

Powtórz zadanie 5 z listy 1, ale usuń ostatnią 9 z x_4 i ostatnią 7 z x_5 . Jaki wpływ na wyniki mają niewielkie zmiany danych?

1.2 Rozwiązanie

Uruchomiłem program z pierwszej listy po dokonaniu modyfikacji wejścia. Wyniki zestawilem w tabeli poniżej. Numeracja algorytmów to odpowiednio 1, 2 - algorytmy sumowania odpowiednio w górę i w dół, 3, 4 - sumy częściowe. Kody źródłowe zostały dołączone do sprawozdania.

1.3 Wynik

W przypadku arytmetyki Float64 lekka zmiana wektorów przyczyniła się do zmiany ostatecznego wyniku - wciąż znacznie odbiegającego od realnych wartości. Dla arytmetyki Float32 usunięcie ostatnich cyfr nie miało wpływu na ostateczny wynik, gdyż arytmetyka nie jest wystarczająco dokładna.

Liczby pojedynczej precyzji pozwalają na zapisanie do 7 cyfr znaczących w reprezentacji dziesiętnej. Zmiana w zadaniu dotyczyła cyfr na pozycji 10, dlatego nie doprowadziło to do zmiany.

Float64 natomiast daje większą dokładność, dlatego zmiana miała wpływ na wynik. Zmniejszenie dokładności składowych wektora pozwoliło na bliższe sobie wyniki obliczeń każdego z algorytmów do 9 miejsca po przecinku. Od 10 cyfry natomiast wyniki zaczęły się rozbiegać.

Poniżej przedstawiłem tabelę z wynikami obliczeń.

Float64				
<i>algorytm</i>	<i>przed</i>	σ	<i>po</i>	σ
1	$1.0251881368e - 10$	$-1.1184955314e + 01$	$-4.2963427399e - 03$	$-4.2682954616e + 08$
2	$-1.5643308870e - 10$	$-1.4541186645e + 01$	$-4.2963429987e - 03$	$-4.2682957187e + 08$
3	$0.0000000000e + 00$	$-1.0000000000e + 00$	$-4.2963428423e - 03$	$-4.2682955633e + 08$
4	$0.0000000000e + 00$	$-1.0000000000e + 00$	$-4.2963428423e - 03$	$-4.2682955633e + 08$

Float32				
<i>algorytm</i>	<i>przed</i>	σ	<i>po</i>	σ
1	$-4.9994429946e - 01$	$-4.9668057661e + 10$	$-4.9994429946e - 01$	$-4.9668057661e + 10$
2	$-4.5434570313e - 01$	$-4.5137965580e + 10$	$-4.5434570313e - 01$	$-4.5137965580e + 10$
3	$-5.0000000000e - 01$	$-4.9673591353e + 10$	$-5.0000000000e - 01$	$-4.9673591353e + 10$
4	$-5.0000000000e - 01$	$-4.9673591353e + 10$	$-5.0000000000e - 01$	$-4.9673591353e + 10$

2 Zadanie 2

2.1 Opis problemu

Narysować wykres funkcji $f(x) = e^x \ln(1 + e^{-x})$ w co najmniej dwóch dowolnych programach do wizualizacji. Następnie policzyć granicę funkcji $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$. Porównać wykres funkcji z policzoną granicą. Wyjaśnić zjawisko.

2.2 Rozwiązanie

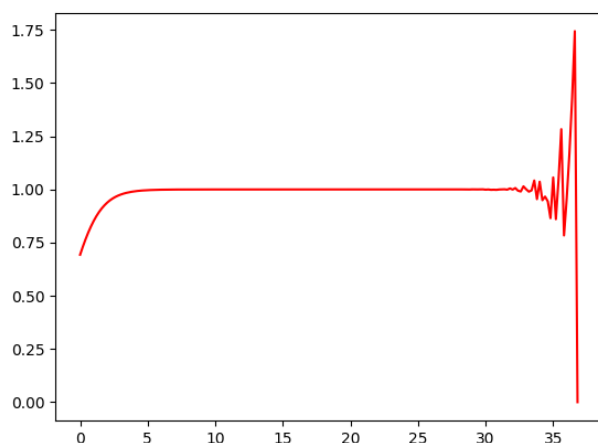
Oto granica funkcji $f(x)$:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} e^x \ln(1 + e^{-x}) = 1$$

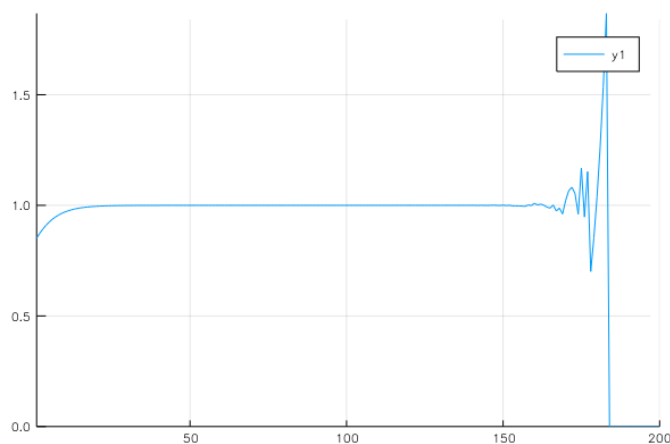
2.3 Wynik

Wykresy wygenerowane za pomocą dwóch programów do wizualizacji załączone są na Rysunkach 1 i 2. Kody źródłowe programów dołączyłem do sprawozdania w osobnych plikach.

Jak widać na wykresach, w pewnym momencie funkcja zaczyna przyjmować nieoczekiwane - błędne - wartości. Głównym czynnikiem wpływającym na takie zachowanie jest operacja mnożenia bardzo dużej liczby e^x przez bardzo małą liczbę $\ln(1 + e^{-x})$, bo $\lim_{x \rightarrow \infty} \ln(1 + e^{-x}) = 0$.



Rysunek 1: Wykres wygenerowany za pomocą biblioteki matplotlib w języku Python



Rysunek 2: Wykres wygenerowany za pomocą biblioteki Plot w języku Julia

3 Zadanie 3

3.1 Opis problemu

Rozwiązać układy równań podane w specyfikacji zadania za pomocą dwóch algorytmów: eliminacji Gaussa ($\mathbf{x} = \mathbf{A}/\mathbf{b}$) oraz $x = A^{-1}b$ ($\mathbf{x} = \text{inv}(\mathbf{A}) * \mathbf{b}$). Eksperymenty wykonać dla macierzy Hilberta \mathbf{H}_n z rosnącym stopniem $n > 1$ oraz dla macierzy losowej R_n , $n = 5, 10, 20$ z rosnącym wskaźnikiem uwarunkowania $c = 10, 10^3, 10^7, 10^{12}, 10^{16}$. Porównać obliczony \tilde{x} z rozwiązaniem dokładnym $x = (1, \dots, 1)T$, tj. policzyć błędy względne.

W języku Julia za pomocą funkcji `cond(A)` można sprawdzić jaki jest wskaźnik uwarunkowania wygenerowanej macierzy. Natomiast za pomocą funkcji `rank(A)` można sprawdzić jaki jest rząd macierzy.

3.2 Rozwiązanie

W celu wykonania podanych w treści zadania obliczeń, stworzyłem w języku Julia odpowiednie funkcje. Kody źródłowe programów dołączyłem do sprawozdania. Błędy względne obliczeń wyliczyłem przy pomocy normy wektora wg. wzoru:

$$\delta = \frac{\|\tilde{x} - x\|}{\|x\|}$$

3.3 Wynik

Poniżej przedstawiłem tabelę - zestawienie wyników w postaci wyliczonych błędów względnych.

Macierz Hilberta jest postaci $h_{ij} = \frac{1}{i+j-1}$. Jak widać, wiele z komórek macierzy nie da się zapisać w postaci skończonej w reprezentacji binarnej, np. $\frac{1}{3}, \frac{1}{6}$. Macierz Hilberta jest macierzą źle uwarunkowaną - wykonując obliczenia z jej użyciem jesteśmy narażeni na duży wpływ błędu wynikającego z reprezentacji numerycznej, dlatego rozwiązywanie w numeryczny sposób nawet małych układów równań z wykorzystaniem macierzy Hilberta jest niemożliwe.

W przypadku macierzy losowych zaobserwowałem, że błąd bezwzględny nie rośnie tak drastycznie, jak w przypadku macierzy Hilberta. W tym wypadku błąd oscylował w granicach 10^{-16} .

Macierz Hilberta

n	$cond$	$gauss$	A^{-1}
1	1.00000e+00	0.00000000000e+00	0.00000000000e+00
2	1.92815e+01	5.6610488670e-16	1.1240151438e-15
3	5.24057e+02	8.0225937723e-15	9.8255260382e-15
4	1.55137e+04	4.4515459602e-13	2.9504776373e-13
5	4.76607e+05	1.6828426299e-12	8.5000557778e-12
6	1.49511e+07	2.6189133023e-10	3.3474135070e-10
7	4.75367e+08	1.2606867224e-08	5.1639591836e-09
8	1.52576e+10	1.0265430657e-07	2.6987150743e-07
9	4.93154e+11	4.8323571205e-06	9.1758468686e-06
10	1.60244e+13	6.3291537230e-04	4.5521422517e-04
11	5.22268e+14	1.1543958596e-02	8.0444667734e-03
12	1.75147e+16	2.9756403107e-01	3.4392937091e-01
13	3.34414e+18	2.3750178677e+00	5.5857968932e+00
14	6.20079e+17	5.2810046468e+00	4.8006419290e+00
15	3.67439e+17	1.1772947348e+00	4.8273577213e+00
16	7.86547e+17	2.0564655824e+01	3.1736467496e+01
17	1.26368e+18	1.7742214635e+01	1.5910335963e+01
18	2.24463e+18	4.2764564411e+00	6.2812234335e+00
19	6.47195e+18	2.2119937293e+01	2.2925614016e+01
20	1.35537e+18	1.4930069669e+01	2.1539498603e+01

Losowa macierz o zadanym współczynniku *cond*

<i>n</i>	<i>cond</i>	<i>gauss</i>	A^{-1}
5	1	$3.4399002280e-16$	$3.3306690739e-16$
5	3	$1.7199501140e-16$	$1.9860273226e-16$
5	7	$1.7199501140e-16$	$2.6272671963e-16$
5	12	$2.6272671963e-16$	$1.1102230246e-16$
5	16	$2.8086667749e-16$	$3.2934537262e-16$
10	1	$3.4755478145e-16$	$1.7901808365e-16$
10	3	$1.8906416839e-16$	$2.2480302876e-16$
10	7	$2.2204460493e-16$	$3.9094986940e-16$
10	12	$2.9790409839e-16$	$7.1521115290e-16$
10	16	$3.2558130189e-16$	$6.4258803294e-16$
20	1	$7.3685695350e-16$	$3.9409007944e-16$
20	3	$4.8963226964e-16$	$4.3990617274e-16$
20	7	$4.7298628134e-16$	$6.2063353831e-16$
20	12	$4.4478255798e-16$	$4.5097472449e-16$
20	16	$4.9214322083e-16$	$4.5301997183e-16$

4 Zadanie 4

4.1 Opis problemu

„Złośliwy wielomian” Wilkinsona. Zainstalować pakiet `Polynomials`.

- Użyć funkcji `roots` z pakietu `Polynomials` do obliczenia 20 zer wielomianu P zadanego w treści zadania. Sprawdzić obliczone pierwiastki $z_k, 1 \leq k \leq 20$, obliczając $|P(z_k)|$, $|p(z_k)|$ i $|z_k - k|$. Wyjaśnić rozbieżność. Zapoznać się z funkcjami `Poly`, `poly`, `polyval` z pakietu `Polynomials`.
- Powtórzyć eksperyment Wilkinsona, tj. zmienić współczynnik -210 na $-210 - 2^{-23}$. Wyjaśnić zjawisko.

4.2 Rozwiązanie

Funkcja `Poly(x)` generuje wielomian w zależności od współczynników podanych jako parametr. Funkcja `poly(x)` tworzy wielomian na podstawie pierwiastków wielomianu, natomiast funkcja `polyval(p,x)` pozwala na wyliczenie wartości wielomianu p dla zadanego argumentu x . Napisałem program z użyciem wyżej wymienionych funkcji z biblioteki `Polynomials`. Kody źródłowe dołączyłem do sprawozdania.

4.3 Wynik

Wyniki poszczególnych części zadań zamieściłem w tabelach poniżej - zatytułowanych odpowiednio (a) i (b).

Analiza wyników

Wyniki (a)

k	$ P(z_k) $	$ p(z_k) $	$ z_k - k $
1	3744.9845589677943	634368.0	$3.4638958368304884e - 14$
2	0.286276201356511	$2.000828411463103e18$	1.5000000000121532
3	0.008870981937623812	$7.081833742276362e17$	2.666666671480031
4	0.001292543281409042	$6.975238303156173e16$	3.749999292770549
5	0.0002468752348492309	$5.532738743218158e17$	4.800030116128743
6	$6.359660288768332e - 5$	$8.711755039228508e17$	5.832765543928463
7	$1.5599974479103758e - 5$	$1.1467631332545471e18$	6.860997629758284
8	$1.5599974479103758e - 5$	$1.1467631332545471e18$	7.860997079449626
9	$3.294359732426998e - 6$	$1.4150728707341862e18$	8.887894252414426
10	$3.294359732426998e - 6$	$1.4150728707341862e18$	9.887892124924674
11	$6.147094764624633e - 7$	$1.635099126269708e18$	10.910961341089823
12	$6.147094764624633e - 7$	$1.635099126269708e18$	11.91095953363977
13	$1.1060473806865536e - 7$	$1.7942764158130138e18$	12.928459786425634
14	$1.1060473806865536e - 7$	$1.7942764158130138e18$	13.928458857167234
15	$2.1833150474298537e - 8$	$1.8986230967648804e18$	14.940250578500368
16	$2.1833150474298537e - 8$	$1.8986230967648804e18$	15.94025025231326
17	$5.2738380570532775e - 9$	$1.9603045451252319e18$	16.94726438591253
18	$5.2738380570532775e - 9$	$1.9603045451252319e18$	17.94726431805519
19	$1.810441792686032e - 9$	$1.9903054634328896e18$	18.950637706265248
20	$1.810441792686032e - 9$	$1.9903054634328896e18$	19.950637702768113

Wyniki (b)

k	<i>przed</i>	<i>po</i>
1	2485.222112660172	2485.222112540963
2	0.1559690322603181	0.15596897265567333
3	0.009913959111156334	0.009913998847585592
4	0.0013229453287246784	0.0013229751311334415
5	0.0002485475697653339	0.0002485714080084911
6	$6.37033778232432e - 5$	$6.372331382697993e - 5$
7	$1.5575157305142046e - 5$	$1.559062071426603e - 5$
8	$1.5575157305142046e - 5$	$1.559062071426603e - 5$
9	$3.2802746616616022e - 6$	$3.285672411349497e - 6$
10	$3.2802746616616022e - 6$	$3.285672411349497e - 6$
11	$6.120811405953786e - 7$	$6.110091759552801e - 7$
12	$6.120811405953786e - 7$	$6.110091759552801e - 7$
13	$1.1086236810002006e - 7$	$1.0824615854214769e - 7$
14	$1.1086236810002006e - 7$	$1.0824615854214769e - 7$
15	$2.195252672566872e - 8$	$2.0001113672403193e - 8$
16	$2.195252672566872e - 8$	$2.0001113672403193e - 8$
17	$1.1856848836089284e - 11$	$6.541717390007307e - 9$
18	$5.782320625157292e - 9$	$3.828580729054348e - 9$
19	$5.782320625157292e - 9$	$3.828580729054348e - 9$
20	$4.581180323981471e - 9$	$1.157528295436805e - 9$

5 Zadanie 5

5.1 Opis problemu

Równanie rekurencyjne (model logistyczny, model wzrostu populacji)

$$p_{n+1} := p_n + rp_n(1 - p_n) \text{ dla } n = 0, 1, 2, \dots$$

Zadanie polegało na przeprowadzeniu następującego eksperymentu:

- (a) Dla danych $p_0 = 0.01$ oraz $r = 3$ wykonać 40 iteracji w/w wyrażenia (1), następnie 40 iteracji z modyfikacją - po 10 iteracji obciąć wynik (2), odrzucając cyfry po 3 miejscu po przecinku. Obliczenia wykonać w arytmetyce `Float32`. Porównać wyniki.
- (b) Porównać wyliczanie 40 iteracji dla arytmetyk `Float32` oraz `Float64`.

5.2 Rozwiązanie

W celu wyliczenia zadanych rekurencji stworzyłem program w Julii. Kody źródłowe dołączyłem w osobnym pliku.

5.3 Wynik

Wyniki obliczeń przedstawiłem w tabeli poniżej.

W punkcie (a) do 10 iteracji wyniki nie różniły się od siebie. Po obcięciu cyfr znaczących w przykładzie (2), kolejne iteracje

Wyniki (a)

n	(1)	(2)
1	0.039700001478195	0.039700001478195
2	0.154071733355522	0.154071733355522
3	0.545072615146637	0.545072615146637
4	1.288978099822998	1.288978099822998
5	0.171518802642822	0.171518802642822
10	0.722930610179901	0.722000002861023
15	1.270483732223511	1.257216930389404
20	0.579903602600098	1.309691071510315
25	1.007080554962158	1.092910766601563
30	0.752920925617218	1.319182157516479
35	1.021098971366882	0.034241437911987
40	0.258605480194092	1.093567967414856

Wyniki (b)

n	<i>Float32</i>	<i>Float64</i>
1	0.039700001478195	0.0397000000000000
2	0.154071733355522	0.1540717300000000
3	0.545072615146637	0.545072626044421
4	1.288978099822998	1.288978001188801
5	0.171518802642822	0.171519142109176
10	0.722930610179901	0.722914301179573
15	1.270483732223511	1.270261773935077
20	0.579903602600098	0.596529312494691
25	1.007080554962158	1.315588346001072
30	0.752920925617218	0.374146489639287
35	1.021098971366882	0.925382128557105
40	0.258605480194092	0.011611238029749

ANALIZA WYNIKU

6 Zadanie 6

6.1 Opis problemu

Dla zadanego równania rekurencyjnego przeprowadź serię eksperymentów.

$$x_{n+1} = x_{n,2} + c \text{ dla } n = 0, 1, 2, \dots$$

Wykonać w arytmetyce Float64 40 iteracji wyrażenia dla 7 zestawów danych:

1. $c = -2$ i $x_0 = 1$
2. $c = -2$ i $x_0 = 2$
3. $c = -2$ i $x_0 = 1.9999999999999999$
4. $c = -1$ i $x_0 = 1$
5. $c = -1$ i $x_0 = -1$
6. $c = -1$ i $x_0 = 0.75$
7. $c = -1$ i $x_0 = 0.25$

6.2 Rozwiązanie

W celu wyliczenia zadanych rekurencji stworzyłem program w Julii, którego kod źródłowy dołączyłem do sprawozdania. Wyniki obliczeń przedstawiłem w tabeli poniżej.

6.3 Wynik

<i>algorytm</i> / <i>iteracja</i>	1	2	4	5
1	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
2	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000
3	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
4	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000
5	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
10	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000
15	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
20	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000
25	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
30	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000
35	-1.000000000	2.000000000	0.000000000	0.000000000
40	-1.000000000	2.000000000	-1.000000000	-1.000000000

<i>algorytm</i> / <i>iteracja</i>	3	6	7
1	2.000000000	-0.437500000	-0.937500000
2	2.000000000	-0.808593750	-0.121093750
3	2.000000000	-0.3461761475	-0.9853363037
4	2.000000000	-0.8801620749	-0.0291123686
5	2.000000000	-0.2253147219	-0.9991524700
10	1.9999999895	-0.9996201881	-0.0000000001
15	1.9999892712	-0.0000000000	-1.0000000000
20	1.9890237264	-1.0000000000	0.0000000000
25	-1.9550094875	0.0000000000	-1.0000000000
30	1.7385002138	-1.0000000000	0.0000000000
35	-1.3354478410	0.0000000000	-1.0000000000
40	-0.3289791230	-1.0000000000	0.0000000000

W przypadku pierwszego zestawu danych, tj. $x_0 = 1$ i $c = -2$, wyniki obliczeń pokrywają się z przewidywaniami. Każda iteracja zwraca -1 . Drugi zestaw również nie przynosi zaskoczenia - każdy wynik wynosi -2 . W trzecim zestawie danych błędy zaczynają pojawiać się na wysokości 15 iteracji.

ANALIZA WYNIKU