

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт прикладной математики и механики  
**Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики**

**ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2**

по дисциплине  
«Математическая статистика»

Выполнил студент  
группы 3630102/80401

Веденичев Дмитрий Александрович

Проверил  
Доцент, к.ф.-м.н.

Баженов Александр Николаевич

Санкт-Петербург  
2021

# Содержание

<b>Список таблиц . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>1 Постановка задачи . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2 Теория . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1 Распределения . . . . .	4
2.2 Вариационный ряд . . . . .	4
2.3 Выборочные числовые характеристики . . . . .	5
2.3.1 Характеристики положения . . . . .	5
2.3.2 Характеристики рассеяния . . . . .	5
<b>3 Программная реализация . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>4 Результаты . . . . .</b>	<b>6</b>
4.1 Характеристики положения и рассеяния . . . . .	6
<b>5 Обсуждение . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>6 Приложение . . . . .</b>	<b>9</b>

## Список таблиц

1	Распределение Лапласа (5) . . . . .	6
2	Равномерное распределение (7) . . . . .	7
3	Нормальное распределение (3) . . . . .	7
4	Распределение Коши (4) . . . . .	8
5	Распределение Пуассона (6) . . . . .	8

# 1 Постановка задачи

Сгенерировать выборки размером 10, 100 и 1000 элементов. Для каждой выборки вычислить следующие статистические характеристики положения данных:  $\bar{x}$ ,  $medx$ ,  $z_R$ ,  $z_Q$ ,  $z_{tr}$ . Повторить такие вычисления 1000 раз для каждой выборки и найти среднее характеристик положения и их квадратов:

$$E(z) = \bar{z} \quad (1)$$

Вычислить оценку дисперсии по формуле:

$$D(z) = \overline{z^2} - \bar{z}^2 \quad (2)$$

Представить полученные данные в виде таблиц.

## 2 Теория

### 2.1 Распределения

- Нормальное распределение

$$N(x, 0, 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2}} \quad (3)$$

- Распределение Коши

$$C(x, 0, 1) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{x^2 + 1} \quad (4)$$

- Распределение Лапласа

$$L(x, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\sqrt{2}|x|} \quad (5)$$

- Распределение Пуассона

$$P(k, 10) = \frac{10^k}{k!} e^{-10} \quad (6)$$

- Равномерное распределение

$$U(x, -\sqrt{3}, \sqrt{3}) = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{3}} & \text{при } |x| \leq \sqrt{3} \\ 0 & \text{при } |x| > \sqrt{3} \end{cases} \quad (7)$$

### 2.2 Вариационный ряд

Вариационным рядом называется последовательность элементов выборки, расположенных в неубывающем порядке. Одинаковые элементы повторяются. Запись вариационного ряда:  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ . Элементы вариационного ряда  $x_{(i)}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) называются порядковыми статистиками.

## 2.3 Выборочные числовые характеристики

С помощью выборки образуются её числовые характеристики. Это числовые характеристики дискретной случайной величины  $X^*$ , принимающей выборочные значения  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ .

### 2.3.1 Характеристики положения

- Выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

- Выборочная медиана

$$medx = \begin{cases} x_{(l+1)} & n = 2l + 1 \\ \frac{x_{(l)} + x_{(l+1)}}{2} & n = 2l \end{cases} \quad (9)$$

- Полусумма экстремальных выборочных элементов

$$z_R = \frac{x_{(1)} + x_{(n)}}{2} \quad (10)$$

- Полусумма квартилей

Выборочная квартиль  $z_p$  порядка  $p$  определяется формулой

$$z_p = \begin{cases} x_{([np]+1)} & np\text{—дробное} \\ x_{(np)} & np\text{—целое} \end{cases} \quad (11)$$

Полусумма квартилей

$$z_Q = \frac{z_{1/4} + z_{3/4}}{2} \quad (12)$$

- Усечённое среднее

$$z_{tr} = \frac{1}{n - 2r} \sum_{i=r+1}^{n-r} x_{(i)}, r \approx \frac{n}{4} \quad (13)$$

### 2.3.2 Характеристики рассеяния

Выборочная дисперсия

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (14)$$

## 3 Программная реализация

Лабораторная работа выполнена на языке Python версии 3.7 в среде разработки PyCharm. Использовались дополнительные библиотеки:

1. `scipy`

2. numpy
3. math

В приложении находится ссылка на GitHub репозиторий с исходным кодом.

## 4 Результаты

### 4.1 Характеристики положения и рассеяния

Как было проведено округление:

В оценке  $x = \hat{E}$  вариации подлежат разные цифры после точки, в зависимости от распределения. Например в случае распределения Коши(4) вариации подлежат все цифры, так что ни одна не валидна.

Characteristic	Mean	Median	$z_R$	$z_Q$	$z_{tr}$
Laplace E(z) 10	-0.0009839	-0.0121517	-0.0197247	-0.0076936	-0.0039645
Laplace D(z) 10	0.0978195	0.0683159	0.5134668	0.4949383	0.1625452
E(z) $\pm \sqrt{D(z)}$	[ -0.313745 ; 0.3117772 ]	[ -0.2735248 ; 0.2492214 ]	[ -0.7362907 ; 0.6968413 ]	[ -0.7112121 ; 0.6958249 ]	[ -0.4071334 ; 0.3992044 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Laplace E(z) 100	0.0034648	0.0033212	0.0245185	0.0027098	0.0056071
Laplace D(z) 100	0.0104284	0.0062275	0.5568239	0.4740201	0.0208539
E(z) $\pm \sqrt{D(z)}$	[ -0.0986547 ; 0.1055843 ]	[ -0.0755933 ; 0.0822357 ]	[ -0.7216878 ; 0.7707248 ]	[ -0.6857814 ; 0.691201 ]	[ -0.1388017 ; 0.1500159 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Laplace E(z) 1000	-0.0010085	-0.0015766	-0.0068676	-0.0020746	0.0001261
Laplace D(z) 1000	0.0011195	0.0005789	0.4895393	0.5319597	0.0020667
E(z) $\pm \sqrt{D(z)}$	[ -0.0344674 ; 0.0324504 ]	[ -0.0256369 ; 0.0224837 ]	[ -0.7065385 ; 0.6928033 ]	[ -0.7314303 ; 0.7272811 ]	[ -0.0453349 ; 0.0455871 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Таблица 1: Распределение Лапласа (5)

Characteristic	Mean	Median	$z_R$	$z_Q$	$z_{tr}$
Uniform E(z) 10	0.000659	-0.0037344	0.0087508	0.0014502	-0.0009534
Uniform D(z) 10	0.1036965	0.2388555	0.4878255	0.4958455	0.1611513
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.3213604 ; 0.3226784 ]	[ -0.4924629 ; 0.4849941 ]	[ -0.6896943 ; 0.7071959 ]	[ -0.7027128 ; 0.7056132 ]	[ -0.4023899 ; 0.4004831 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Uniform E(z) 100	0.003774	0.0071305	0.0032768	0.0214441	-0.0007186
Uniform D(z) 100	0.009722	0.0292367	0.4905364	0.5358395	0.0204128
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.0948262 ; 0.1023742 ]	[ -0.1638569 ; 0.1781179 ]	[ -0.6971062 ; 0.7036598 ]	[ -0.7105665 ; 0.7534547 ]	[ -0.143592 ; 0.1421548 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Uniform E(z) 1000	0.0004006	0.0011303	0.0075157	0.0083656	-0.0002115
Uniform D(z) 1000	0.0009215	0.0026702	0.5022606	0.4949788	0.0018109
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.0299556 ; 0.0307568 ]	[ -0.0505437 ; 0.0528043 ]	[ -0.7011878 ; 0.7162192 ]	[ -0.6951817 ; 0.7119129 ]	[ -0.0427662 ; 0.0423432 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Таблица 2: Равномерное распределение (7)

Characteristic	Mean	Median	$z_R$	$z_Q$	$z_{tr}$
Normal E(z) 10	0.0048043	0.0035738	-0.0158131	0.029832	0.0076417
Normal D(z) 10	0.093454	0.0806334	0.4759391	0.5494387	0.1552688
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.3008982 ; 0.3105068 ]	[ -0.2803864 ; 0.287534 ]	[ -0.7056965 ; 0.6740703 ]	[ -0.7114093 ; 0.7710733 ]	[ -0.3863999 ; 0.4016833 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Normal E(z) 100	0.0014876	-0.004149	-0.0337122	0.0379003	0.0061809
Normal D(z) 100	0.0095173	0.0093478	0.512915	0.4902777	0.0180784
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.0960691 ; 0.0990443 ]	[ -0.100833 ; 0.092535 ]	[ -0.749893 ; 0.6824686 ]	[ -0.662298 ; 0.7380986 ]	[ -0.128275 ; 0.1406368 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Normal E(z) 1000	7.13e-05	-0.0002033	-0.002519	-0.0178714	-0.0012642
Normal D(z) 1000	0.0009921	0.0009216	0.4910093	0.5370306	0.0020388
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -0.0314263 ; 0.0315689 ]	[ -0.0305612 ; 0.0301546 ]	[ -0.7032396 ; 0.6982016 ]	[ -0.7506951 ; 0.7149523 ]	[ -0.0464173 ; 0.0438889 ]
$\hat{E}(z)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Таблица 3: Нормальное распределение (3)

Characteristic	Mean	Median	$z_R$	$z_Q$	$z_{tr}$
Cauchy E(z) 10	-0.9015205	-0.0102798	1.5506815	2.0303134	-1.3998546
Cauchy D(z) 10	887.5172201	0.3256897	7785.2477732	1676.7961675	1337.2031198
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -30.6927477 ; 28.8897067 ]	[ -0.5809721 ; 0.5604125 ]	[ -86.6833696 ; 89.7847326 ]	[ -38.9183883 ; 42.9790151 ]	[ -37.9676426 ; 35.1679334 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-
Cauchy E(z) 100	-0.4475114	-0.0059119	-0.4265913	2.0329197	0.5847918
Cauchy D(z) 100	151.9747356	0.025389	550.5545438	1026.1692437	423.7994764
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -12.7753148 ; 11.880292 ]	[ -0.1652512 ; 0.1534274 ]	[ -23.89049 ; 23.0373074 ]	[ -30.0009568 ; 34.0667962 ]	[ -20.0015988 ; 21.1711824 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-
Cauchy E(z) 1000	0.0604925	0.0014351	0.1957455	-0.3087999	-0.5480516
Cauchy D(z) 1000	1063.4570552	0.0023946	384.7296859	139.1980079	3363.2160612
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ -32.5501968 ; 32.6711818 ]	[ -0.0474996 ; 0.0503698 ]	[ -19.4187819 ; 19.8102729 ]	[ -12.1070204 ; 11.4894206 ]	[ -58.5412931 ; 57.4451899 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-

Таблица 4: Распределение Коши (4)

Characteristic	Mean	Median	$z_R$	$z_Q$	$z_{tr}$
Poisson E(z) 10	10.0151	9.8985	9.934	10.0265	10.0538333
Poisson D(z) 10	0.996602	1.3839478	5.290144	4.8850478	1.5409631
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ 9.0168004 ; 11.0133996 ]	[ 8.7220869 ; 11.0749131 ]	[ 7.6339687 ; 12.2340313 ]	[ 7.8162856 ; 12.2367144 ]	[ 8.812478 ; 11.2951886 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-
Poisson E(z) 100	9.98215	9.82	10.113	10.094	9.9692
Poisson D(z) 100	0.1006763	0.1961	5.311731	4.826664	0.1995538
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ 9.6648547 ; 10.2994453 ]	[ 9.3771682 ; 10.2628318 ]	[ 7.8082807 ; 12.4177193 ]	[ 7.897033 ; 12.290967 ]	[ 9.5224855 ; 10.4159145 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-
Poisson E(z) 1000	9.995908	9.995	9.952	10.0135	9.99356
Poisson D(z) 1000	0.009907	0.004475	4.938196	4.3005678	0.0205054
E(z) $\pm\sqrt{D(z)}$	[ 9.8963741 ; 10.0954419 ]	[ 9.9281046 ; 10.0618954 ]	[ 7.7297948 ; 12.1742052 ]	[ 7.939719 ; 12.087281 ]	[ 9.8503629 ; 10.1367571 ]
$\hat{E}(z)$	-	-	-	-	-

Таблица 5: Распределение Пуассона (6)



## 5 Обсуждение

Из полученных нами данных сильно выделяется распределение Коши. Так, даже для больших выборок, дисперсия принимает огромные значения. Кроме того, нет какой-то очевидной закономерности между увеличением выборки и изменением значения дисперсии: у mean дисперсия от выборки из 10 к 100 падает, от 100 к 1000 растет, у  $z_R$  все время убывает. Данные аномалии являются результатами выбросов, которые наблюдались в распределении Коши еще в первой лабораторной.

## 6 Приложение

Код программы GitHub URL:

[https://github.com/PopeyeTheSailorsCat/math\\_stat\\_2021/blob/main/lab2/src/lab2.py](https://github.com/PopeyeTheSailorsCat/math_stat_2021/blob/main/lab2/src/lab2.py)