

Отчет по заданию №3

по курсу «Теория информации и кодирования»

студента 3 курса группы ИВТ

Направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Вариант 4.

Техническое задание:

Источник информации вырабатывает информационный сигнал с N различными символами. Длительность символов τ_i задается в виде счетчика случайных чисел в диапазоне $[1 - N]$ мс. Вероятности появления на входе $p(x_i)$ даются в виде счетчика случайных чисел.

Источник информации подключен к каналу передачи сигналов.

Определить:

1. пропускную способность канала и скорость передачи информации при использовании канала без помех;
2. пропускную способность канала и скорость передачи информации в канале с помехами с учетом того, что вероятность перехода одного сигнала в другой (вероятность ошибки в канале) $q = \frac{1}{2 \cdot N}$.

Необходимо разработать программное обеспечение для проведения шести тестов со случайными данными, сделать вывод по полученным результатам.

Описание работы программы:

Программа разработана на языке программирования Python 3 с использованием ООП. Основным классом в программе является класс `infoSyS`, который получает исходные данные для построения информационной матрицы. Этот же класс при создании генерирует все необходимые массивы и рассчитывает основные показатели по сгенерированной структуре данных, позволяет выводить результаты теста и получать данные для построения сводной таблицы.

```

34 class infoSys():
35     def __init__(self, N, prob=(10**(-5), 1.0, False), name="test"):
36         self.N = N # количество элементов массива (символов)
37         self.prob = prob # вероятность для безошибочного или ошибочного, True-безошиб./False-ошибочн
38         self.name = name # имя теста
39         self.R = range(N) # range для массива, чтоб не вычислять каждый раз
40
41         # Вероятность появления символов на входе P(Y)
42         self.PY = self.form_P()
43
44         # Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи. H(Y) =
45         self.HY = - sum(y * math.log2(y) for y in self.PY)
46
47         # Массив длительности символов τ =
48         self.t = [random.uniform(10**(-10), self.N) for i in self.R]
49
50         # Средняя длительность символа τ_
51         self.t_ = sum(self.PY[i] * self.t[i] for i in self.R)/10**6
52
53         # Идеальная средняя скорость передачи символов в сек без помех. Uy (1/τ_) =
54         self.Uy=1/self.t_
55
56         # Скорость передачи для дискретного канала без помех. I=
57         self.I = self.Uy * self.HY
58
59         # Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется
60         # максимальной энтропией информационного сигнала. C =
61         self.C = self.Uy * math.log2(self.N) # =math.log2(self.N) / self.t_
62
63         # Матрица(2d) переходов. P(Y/Z)
64         self.PYZ = [self.form_P(prob=(0, 0.5/self.N, False), idx=j) for j in self.R]
65
66         # Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе
67         self.PZ = [ sum(self.PY[i] * self.PYZ[j][i] for i in self.R) for j in self.R]
68
69         # Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj P(Yi,Zj)
70         self.PY_Z = [ [self.PZ[j] * self.PYZ[j][i] for i in self.R] for j in self.R]
71
72         # Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех. (H(Y/Z))
73         self.HYZ = -sum(self.PY_Z[i][j] * math.log2(self.PY_Z[i][j]) for j in self.R for i in self.R)
74
75         # Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами I(Z,Y)
76         self.IZ_Y = (self.HY - self.HYZ) / self.t_
77
78         # Пропускная способность дискретного канала с помехами
79         self.C_ = (math.log2(self.N) - self.HYZ) / self.t_

```

Рис. 1 Инициализация класса

$$\bar{I}(Y) = \frac{H(Y)}{\bar{\tau}}$$

Рис. 2 Скорость передачи для дискретного канала без помех

$$H(Y) = - \sum_{i=1}^N p(y_i) \log_2 p(y_i)$$

Рис. 3 Энтропия информационного сигнала на входе в канал

$$\bar{\tau} = \sum_{i=1}^N p(y_i) \cdot \tau_i$$

Рис. 4 Средняя длительность символа

$$C = \frac{\log_2 N}{\bar{\tau}}$$

Рис. 5 Пропускная способность дискретного канала без помех

$$\bar{I}(Z, Y) = \frac{(H(Y) - H(Y/Z))}{\bar{\tau}}$$

Рис. 6 Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами

$$H(Y/Z) = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(y_i, z_j) \log_2 p(y_i / z_j)$$

Рис. 7 Остаточная энтропия сигнала

$$p(y_i, z_j) = p(z_j) \cdot p(y_i / z_j)$$

Рис. 8 Совместная вероятность появления сообщения на входе y_i и на выходе z_j

$$p(z_j) = \sum_{i=1}^N p(y_i) \cdot p(y_i / z_j)$$

Рис. 9 Вероятность появления дискретного сообщения z_j на выходе

$$C = \frac{(\log_2 N - H(Y/Z))}{\bar{\tau}}$$

Рис. 10 Пропускная способность дискретного канала с помехами

```

25 def range_bits(val, r=50): #val=[1, ~)
26     # перевод бит в [бит,Кбит,Мбит,Гбит,Тбит]
27     # бит/с          Кбит          Мбит          Гбит
28     # ( (1,""), (10**3, " бит/с"), (10**6, " Кбит/с"), (10**9, " Мбит/с"), (10**12, " Гбит/с") )
29     #      0              1              2              3              4
30     L = ["", "К", "М", "Г", "Т"]
31     return "".join( str( round(val/(10**(3*i-3)), r) )+" "+L[i-1]+"бит/с" if 10**(3*i-3)<=val<10**(3*i) else ""
32                     for i in range(1, len(L)+1) )

```

Рис. 11 Определение размерности вывода значения пропускной способности и скорости передачи

У нас есть три варианта формирования одномерного массива. Во всех трех случаях сумма элементов массива должна быть равна 1.0 (100%):

1. Первый вариант, когда нету «ключевого элемента» - 100% вероятность случайным образом распределяется по всем членам массива. Для этого вместо «ключевого индекса» в метод передается None, а переданные границы диапазона используются для формирования вероятностей в массиве. Например,

- чтобы сформировать массив с равновероятными исходами, нужно передать $\text{prob}=(1, 1)$.
- Второй вариант, когда указан ключевой элемент и второй по индексу элемент кортежа prob равен True . В этом случае границы вероятности используются для формирования на указанном индексе массива вероятности безошибочной передачи данных. При этом остальные члены массива «подгоняются» так, чтобы сумма всех элементов массива равнялась 1.0.
 - Третий вариант, когда указана вероятность ошибки в канале. Тогда все элементы массива, кроме «ключевого» генерируются случайным образом в пределах границ переданной вероятности, а элемент безошибочного «подгоняется» так, чтобы сумма всех элементов массива равнялась 1.0.

```
130 tests = [infoSys(N, prob=(10**(-9), 0.5/N), name="Тест "+str(i+1)) for i in range(N_test)]
```

Рис. 12 Формирование массива тестов

```
102 def form_P(self, prob=(10**(-5), 1.0, True), idx=None):
103     # формирование 1d массива случайных вероятностей (частный случай с заданной
104     # вероятностью безошибочной передачи сообщения или вероятностью ошибочной передачи)
105     # idx - индекс ключевого элемента (если None, то случайно раскидывает всю строку)
106     # [prob[0];prob[1]] - границы распределения вероятности
107     # prob[2] = True = Вероятность безошибочной передачи
108     # prob[2] = False = вероятность ошибки в канале
109
110     p = [random.uniform(*prob[:2]) for i in self.R]
111     # строка вероятностей:
112     if idx==None:
113         # случайных (границы весов prob[:2] Ех: (1,1)- для равновероятных событий)
114         k= 1.0/sum(p)
115         p = [p[i]*k for i in self.R]
116     elif prob[2]:
117         # с указанной для элемента idx вероятностью (границы prob[:2]) безошибочной передачи, ошибочные - случайные
118         p[idx]= random.uniform(*prob[:2])
119         k= (1.0-p[idx]) / (sum(p)-p[idx])
120         p = [ p[i] if i==idx else p[i]*k for i in self.R]
121     else:
122         # idx-элемент с вероятностью безошибочной передачи и указанным диапазоном вероятностей для ошибки в канале (границы prob[:2])
123         p[idx] = 1.0 - (sum(p) - p[idx])
124
125     while sum(p)!=1.0:
126         p[-1] += 1.0 - sum(p) # python bug fix
127     return p
```

Рис. 13 Универсальный метод формирования всех вариантов одномерного массива

Вывод детальной информации по рассчитанному варианту производится отдельным методом класса. В методе используется функция выравнивания колонок таблиц при выводе на консоль. Все данные выводятся без округления, с указанием единиц измерения.

```
81 def prn(self):
82     print("")
83     if self.name: print("\n", "="*10, " Тест: " + str(self.name), " ", "="*10 )
84     print("\nВероятность появления символов на входе P(Y): \n", self.PY, " Σ =", sum(self.PY))
85     print("\nМассив длительности символов(мкс) τ =", self.t)
86     print("Средняя длительность символа τ_ =", self.t_, "с")
87     print("\nИдеальная средняя скорость передачи без помех. \t\t\t\t Uy(1/τ_ )=", self.Uy, "симв./сек")
88     print("Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи. \t\t\t\t H(Y)\t\t =", self.HY, "бит")
89     print("Скорость передачи для дискретного канала без помех. \t\t\t\t I \t\t =", range_bits(self.I))
90     print("Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется\n" + \
91           "максимальной энтропией информационного сигнала. \t\t\t\t C \t\t =", range_bits(self.C))
92     print("\nМатрица(2d) переходов. P(Y/Z):")
```

Рис. 14 Вывод варианта на консоль (начало метода)

Результаты работы программы:

```
Введите количество элементов: 4

===== Тест: Тест 1 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.3294947291259148, 0.3846938253738299, 0.017991548982627593, 0.2678198965176278]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [3.9853273696114635, 2.3490694116525725, 1.4322756056184915, 0.05717023545673321]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}} = 2.257897043424522e-06$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\text{ср}}) = 442889.99045027915$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.6712590133069094$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 740.1838884434401$  Кбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 885.7799809005583$  Кбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.837067907971266500, 0.088774788146261540, 0.0213082784430687070, 0.052849025439403285]  $\Sigma=1.0$ 
[0.073685721147009180, 0.756155019014702400, 0.1219412662100741900, 0.048217993628214260]  $\Sigma=1.0$ 
[0.061143921542527346, 0.011632964782897173, 0.8289318985282264000, 0.098291215146349100]  $\Sigma=1.0$ 
[0.124316749247938230, 0.056716422573783315, 0.0012999105444909953, 0.817666917633787400]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.3244979659953078, 0.33027487389798654, 0.06585984151384316, 0.2817910278514939]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.271626833461287350, 0.0288072381771365000, 0.00691449301171971400, 0.017149401255164230]
[0.024336542259010658, 0.2497390035524104400, 0.04027413632040306000, 0.015025191765172382]
[0.004026928982325712, 0.0007661452169377268, 0.05459332346283811400, 0.006473443851741613]
[0.035031344549732946, 0.0159821790131260720, 0.00036630312844711265, 0.230411201160187760]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 0.9652395372661707$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 312.6889590013938$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\text{ср}} = 458.28505145851216$  Кбит/с
```

Рис. 15 Тест 1

```
===== Тест: Тест 2 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.2994167983828487, 0.0207237558857046, 0.3195786299320588, 0.3602808157993879]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [2.8505848350992586, 0.7571611447478823, 0.9949280863531842, 3.2824840297286273]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}} = 2.369777986370784e-06$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\text{ср}}) = 421980.45798014104$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.6933889691484265$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 714.577052739772$  Кбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 843.9609159602821$  Кбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.797679909032118900, 0.03078629266823829, 0.050932123172749075, 0.12060167512689368]  $\Sigma=1.0$ 
[0.073359077774683920, 0.79610752863424120, 0.034141498187794630, 0.09639189540328020]  $\Sigma=1.0$ 
[0.110348465009504390, 0.08488608347294622, 0.697482007871722300, 0.10728344364582706]  $\Sigma=1.0$ 
[0.039335938017527924, 0.03220465071947180, 0.037867983932412700, 0.89059142733058760]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.2992040601551695, 0.08410232220882818, 0.2963518536479872, 0.3454100463485042]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.238669067486616230, 0.009211383763462222, 0.015239098045609715, 0.036084510859481306]
[0.006169668795948954, 0.066954491886070860, 0.002871379281282028, 0.008106782245526337]
[0.032701972152776680, 0.025156148186125386, 0.206700085918904930, 0.031793647390180230]
[0.013587028173796210, 0.011123809897650145, 0.013079982085219082, 0.307619226191838800]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 1.0213816706598495$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 283.5739475822071$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\text{ср}} = 412.95781080271723$  Кбит/с
```

Рис. 16 Тест 2

```

===== Тест: Тест 3 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.22911721831993895, 0.24442020872949066, 0.27679051034323754, 0.24967206260733296]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [2.327811074901058, 0.6967034632334648, 0.5917422762424315, 3.6166828139613267]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}} = 1.770403308752789\text{e-}06$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\text{ср}}) = 564843.0473757295$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.996613626148612$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 1.1277733250256876$  Мбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 1.129686094751459$  Мбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.84612813288629150, 0.070819012596624030, 0.074126639283065600, 0.008926215234018861]  $\Sigma=1.0$ 
[0.12456549436242037, 0.740439277406644100, 0.013932332965192626, 0.121062895265742930]  $\Sigma=1.0$ 
[0.11240261679159548, 0.004946720703531499, 0.833892315330557000, 0.048758347174316110]  $\Sigma=1.0$ 
[0.11939766332042201, 0.000434943660164650, 0.082058393814589780, 0.708108999204823500]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.23391829887597732, 0.2436007826201321, 0.26994953003804084, 0.24896820738390213]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.197924853475868200, 0.016565862954678700, 0.0173395773624879030, 0.0020880050829425257]
[0.030344251914149255, 0.180371587458943580, 0.0033939272140451893, 0.0294910160329940640]
[0.030343033577937197, 0.001335364929147775, 0.2251088386258176300, 0.0131622929051382700]
[0.029726222202712153, 0.022515425807935377, 0.0204299312088207000, 0.1762966281644339000]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 1.0233899367378667$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 549.7186345050159$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\text{ср}} = 551.6314042307874$  Кбит/с

```

Рис. 17 Тест 3

```

===== Тест: Тест 4 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.22889693613965098, 0.26216524024325877, 0.30326694635976204, 0.2056708772573283]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [3.0945319260898425, 3.6683452226538127, 3.776000974947425, 3.3928122925456017]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}} = 3.512980448961636\text{e-}06$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\text{ср}}) = 284658.5725507181$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.9845581181398415$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 564.9214810536266$  Кбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 569.3171451014362$  Кбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.796891103672542300, 0.119608766216561500, 0.01472577143159745, 0.068774358679298680]  $\Sigma=1.0$ 
[0.070644072788639360, 0.821584844852358600, 0.10130872337194254, 0.006462358987059533]  $\Sigma=1.0$ 
[0.056767832496438256, 0.119991240192066000, 0.77380939316048890, 0.049431534151006860]  $\Sigma=1.0$ 
[0.085894537658771160, 0.005770565861569904, 0.02576836359396864, 0.882566532885690300]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.23237391541518843, 0.26361390626732034, 0.28928895396305837, 0.21050676428305215]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.185176705919919500, 0.0277939573237223070, 0.0034218851650694242, 0.0159813670064771830]
[0.018622759982446134, 0.2165811902815606000, 0.0267063883070331460, 0.0017035676962804868]
[0.016422306881644734, 0.0347121403598928600, 0.2238545099141868200, 0.0142999968073339710]
[0.018081381192136686, 0.0012147431476013234, 0.0054244148410355390, 0.1857862251022786000]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 0.9157463056445911$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 304.24644487024375$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\text{ср}} = 308.6421089180533$  Кбит/с

```

Рис. 18 Тест 4


```

===== Тест: Тест 5 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.5958259183861134, 0.07922873819766416, 0.1290057208388315, 0.19593962257739078]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [0.7798519592391499, 2.174551765517435, 2.506852942413313, 0.9481504987115067]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\Sigma} = 1.1461216240833982e-06$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\Sigma}) = 872507.7504752099$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.5768118131401456$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 1.3757805280056454$  Мбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 1.7450155009504198$  Мбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.80088832239358520, 0.120898120877708360, 0.019221371332797846, 0.058992185395908530]  $\Sigma=1.0$ 
[0.07776314277835308, 0.758110908919989300, 0.097827278757821570, 0.066298669543836040]  $\Sigma=1.0$ 
[0.05341650369745375, 0.044728665556783010, 0.879533280484965400, 0.022321550260797865]  $\Sigma=1.0$ 
[0.12293947531567673, 0.015931703492945967, 0.088562336652151230, 0.772566484539226000]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.5008071991882694, 0.1320082815917742, 0.15320923408998796, 0.23731420802649505]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.401090637600523160, 0.0605466493038899700, 0.009626201141736183, 0.029543711142120083]
[0.010265378849346175, 0.1000769183425058300, 0.012914010961619500, 0.008751973438302690]
[0.008183901619251900, 0.0068528445918219490, 0.134752620259756100, 0.003419867619158012]
[0.029175284219732662, 0.0037808195969414172, 0.021017100783581103, 0.183341003426239880]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 1.0055113138089014$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 498.4641135168681$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\Sigma} = 867.6990864616424$  Кбит/с

```

Рис. 19 Тест 5

```

===== Тест: Тест 6 =====

Вероятность появления символов на входе P(Y):
[0.6049081702793688, 0.09028828077656816, 0.05018454942852768, 0.2546189995155354]  $\Sigma = 1.0$ 

Массив длительности символов(мкс)  $\tau = [1.0842637245950912, 0.15950083150918765, 3.8847843823775796, 0.493973968429806]$ 
Средняя длительность символа  $\tau_{\Sigma} = 9.910123530894237e-07$  с

Идеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\Sigma}) = 1009069.1572941123$  симв./сек
Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y) = 1.4710656220475746$  бит
Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I = 1.4844069475638852$  Мбит/с
Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала.  $C = 2.0181383145882243$  Мбит/с

Матрица(2d) переходов. P(Y/Z):
[0.945803793220910000, 0.0017005602673311332, 0.049920634584258355, 0.0025750119275005784]  $\Sigma=1.0$ 
[0.031394682213980380, 0.8560592435454931000, 0.025342994169424884, 0.0872030800711017100]  $\Sigma=1.0$ 
[0.028937058821456252, 0.1186875143752775800, 0.775630219860542100, 0.0767452069427240300]  $\Sigma=1.0$ 
[0.106162818773968690, 0.0407891966044111600, 0.069487184216107790, 0.7835608004055123000]  $\Sigma=1.0$ 

Вероятность появления дискретных сообщений Zj на выходе. P(Z):
[0.5754388741779594, 0.11975840486311258, 0.08668579584376189, 0.27089819298171747]

Совместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):
[0.5442522699642839000, 0.0009785684857047969, 0.028726273763414930, 0.001481761964555750]
[0.0037597770631306224, 0.1025202894753310700, 0.003035036556185487, 0.010443301768465424]
[0.0025084319733156856, 0.0102885216403388670, 0.067236122889083110, 0.006652719341024233]
[0.0287593157677136680, 0.0110497196533109900, 0.018823952639531320, 0.212265204921161500]

Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $H(Y/Z) = 0.6692339804809473$  бит
Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z,Y) = 809.1035788473913$  Кбит/с
Пропускная способность дискретного канала с помехами  $C_{\Sigma} = 1.3428349458717306$  Мбит/с

```

Рис. 20 Тест 6

Анализ сводной таблицы нескольких тестов.

По итогам проведения шести тестов формируется сводная таблица, которая выводит основные показатели каждого теста:

- Название теста
- Средняя длительность символа
- Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи
- Скорость передачи для дискретного канала без помех

- Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех
- Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех
- Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами
- Пропуская способность дискретного канала с помехами

Пропускная способность канала без помех характеризуется максимальной энтропией информационного сигнала. Чем выше энтропия при случайно сгенерированных данных, тем больше пропускная способность канала. На пропускную способность также влияет средняя длительность символа: чем меньше средняя длительность символа, тем больше пропускная способность канала и тем выше скорость передачи для дискретного канала без помех или с помехами.

Скорость передачи и пропуская способность дискретного канала без помех всегда соответственно выше аналогичных показателей в канале с помехами.

Так, например, в «Тесте 6» самая минимальная средняя длительность символа, что влияет на то, что у этого канала самая высокая пропускная способность и скорость передачи, как без помех, так и с помехами. На высокие скорость передачи и пропускную способность канала с помехами в этом тесте также влияет и низкая остаточная энтропия. Чем меньше остаточная энтропия, тем больше значения числителя при расчете скорости передачи и пропускной способности канала с помехами (так как она вычитается в обоих случаях).

Сводная таблица тестов:								
Name	t ср, мкс	H(Y)	I	C	H(Y/Z)	I(Z,Y)	C_	
Тест 1	2.258	1.6713	740.184 Кбит/с	885.78 Кбит/с	0.9652	312.689 Кбит/с	458.285 Кбит/с	
Тест 2	2.37	1.6934	714.577 Кбит/с	843.961 Кбит/с	1.0214	283.574 Кбит/с	412.958 Кбит/с	
Тест 3	1.77	1.9966	1.128 Мбит/с	1.13 Мбит/с	1.0234	549.719 Кбит/с	551.631 Кбит/с	
Тест 4	3.513	1.9846	564.921 Кбит/с	569.317 Кбит/с	0.9157	304.246 Кбит/с	308.642 Кбит/с	
Тест 5	1.146	1.5768	1.376 Мбит/с	1.745 Мбит/с	1.0055	498.464 Кбит/с	867.699 Кбит/с	
Тест 6	0.991	1.4711	1.484 Мбит/с	2.018 Мбит/с	0.6692	809.104 Кбит/с	1.343 Мбит/с	

Рис. 21 Сводная таблица 6 сгенерированных тестов

Вывод:

В ходе выполнения данной лабораторной работе, были получены знания по расчету пропускной способности и скорости передачи для каналов без помех и с помехами.

Разработано программное обеспечение на языке программирования Python 3, позволяющее генерировать варианты со случайными показателями передачи информации в системе, рассчитывать пропускную способность и скорость передачи без помех и с помехами и формировать сводную таблицу.

Анализ показателей и выводы по ним представлены в разделе выше.

Приложение №1

Код программы

ТИК. Лабораторная работа №2. Вариант 4 (но можно любой вариант выполнить)

```
import random, math
```

```
def header(lab, var):
```

```
    global R, N
```

```
    print("\n" + "-"*70 + "\nТИК. Лабораторная работа №" + str(lab) + \
    " (вар." + str(var) + "). Выполнил: xxx, ИВТ-xxx\n" + "-"*70, "\n")
```

```
    try:
```

```
        N = int(input('Введите количество элементов: '))
```

```
    except:
```

```
        N = 4
```

```
    R = tuple(range(N))
```

```
def print_2d_table(a, add_sum=False):
```

```
    lens=[ max( len(str(a[j][i])) for j in range(len(a)) )
```

```
        for i in range(len(a[0]))]
```

```
    for j in range(len(a)):
```

```
        print(" [", end="")
```

```
        for i in range(len(a[j])):
```

```
            s=str(a[j][i])
```

```
            s+= "0"*(lens[i]-len(s)) + (" , " if i!=len(a[j])-1 else "")
```

```
            print(s, end="")
```

```
        print("]", " Σ="+str(sum(a[j])) if add_sum else "")
```

```
def range_bits(val, r=50): #val=[1, ~)
```

```
    # перевод бит в [бит,Кбит,Мбит,Гбит,Тбит]
```

```
    # бит/с Кбит Мбит Гбит
```

```
    #( (1,""), (10**3, " бит/с"), (10**6, " Кбит/с"), (10**9, " Мбит/с"), (10**12, " Гбит/с") )
```

```
    # 0 1 2 3 4
```

```
    L = [ "", "К", "М", "Г", "Т"]
```

```
    return "".join( str( round(val/(10**(3*i-3)), r) )+" "+ L[i-1]+"бит/с"
```

```
        if 10**(3*i-3)<=val<10**(3*i) else ""
```

```
        for i in range(1, len(L)+1 ) )
```

```
class infoSyS():
```

```
    def __init__(self, N, prob=(10**(-5), 1.0, False), name="test"):
```

```
        self.N = N # количество элементов массива (символов)
```

```
        self.prob = prob # вероятность для безошибочного или ошибочного, True-безошиб./False-ошибочн
```

```
        self.name = name # имя теста
```

```
        self.R = range(N) # range для массива, чтоб не вычислять каждый раз
```

```
    # Вероятность появления символов на входе P(Y)
```

```
    self.PY = self.form_P()
```

```
    # Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи. H(Y) =
```

```
    self.HY = - sum(y * math.log2(y) for y in self.PY)
```

```

# Массив длительности символов  $\tau$  =
self.t = [random.uniform(10**(-10), self.N) for i in self.R]

# Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}}$ 
self.t_ = sum(self.PY[i] * self.t[i] for i in self.R) / 10**6

# Идеальная средняя скорость передачи символов в сек без помех.  $U_y (1/\tau_{\text{ср}}) =$ 
self.Uy = 1 / self.t_

# Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I =$ 
self.I = self.Uy * self.HY

# Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется
# максимальной энтропией информационного сигнала.  $C =$ 
self.C = self.Uy * math.log2(self.N) # =math.log2(self.N) / self.t_

# Матрица(2d) переходов.  $P(Y/Z)$ 
self.PYZ = [self.form_P(prob=(0, 0.5/self.N, False), idx=j)
             for j in self.R]

# Вероятность появления дискретных сообщений  $Z_j$  на выходе
self.PZ = [sum(self.PY[i] * self.PYZ[j][i] for i in self.R)
            for j in self.R]

# Совместная вероятность появления сообщения на входе  $Y_i$  и на выходе  $Z_j$   $P(Y_i, Z_j)$ 
self.PY_Z = [self.PZ[j] * self.PY[i] for i in self.R]
              for j in self.R]

# Остаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех.  $(H(Y/Z))$ 
self.HYZ = -sum(self.PY_Z[i][j] * math.log2(self.PY_Z[i][j])
                 for j in self.R for i in self.R)

# Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами  $I(Z, Y)$ 
self.IZ_Y = (self.HY - self.HYZ) / self.t_

# Пропускная способность дискретного канала с помехами
self.C_ = (math.log2(self.N) - self.HYZ) / self.t_

```

```

def prn(self):
    print("")
    if self.name: print("\n", "="*10, " Тест: " + str(self.name), " ", "="*10 )
    print("\nВероятность появления символов на входе P(Y): \n", self.PY, " Σ =", sum(self.PY))
    print("\nМассив длительности символов(мкс)  $\tau$  =", self.t)
    print("Средняя длительность символа  $\tau_{\text{ср}}$  =", self.t_, "с")
    print("\nИдеальная средняя скорость передачи без помех.  $U_y(1/\tau_{\text{ср}}) =$ , self.Uy, "симв./сек")
    print("Энтропия информационного сигнала на входе в канал передачи.  $H(Y)$  =", self.HY, "бит")
    print("Скорость передачи для дискретного канала без помех.  $I$  =", range_bits(self.I))
    print("Пропускная (макс) способность дискретного канала без помех характеризуется\n" + \
          " максимальной энтропией информационного сигнала.  $C$  =", range_bits(self.C))
    print("\nМатрица(2d) переходов. P(Y/Z):")
    print_2d_table(self.PYZ, True)
    print("\nВероятность появления дискретных сообщений  $Z_j$  на выходе. P(Z):")
    print(self.PZ)

```

```

print("\nСовместная вероятность появления сообщения на входе Yi и на выходе Zj. P(Y,Z):")
print_2d_table(self.PY_Z)
print("\nОстаточная энтропия сигнала, обусловленная действием помех. \tH(Y/Z) =", self.HYZ, "бит")
print("Скорость передачи информации по дискретному каналу с помехами \tl(Z,Y) =",
range_bits(self.IZ_Y))
print("Пропуская способность дискретного канала с помехами \ttC_   =", range_bits(self.C_))

```

```

def form_P(self, prob=(10**(-5), 1.0, True), idx=None):
    # формирование 1d массива случайных вероятностей (частный случай с заданной
    # вероятностью безошибочной передачи сообщения или вероятностью ошибочной передачи)
    # idx - индекс ключевого элемента (если None, то случайно раскидывает всю строку)
    # [prob[0];prob[1]] - границы распределения вероятности
    # prob[2] = True = Вероятность безошибочной передачи
    # prob[2] = False = вероятность ошибки в канале

```

```

p = [random.uniform(*prob[:2]) for i in self.R]
# строка вероятностей:
if idx==None:      # случайных (границы весов prob[:2])
                    # Ех: (1,1)- для равновероятных событий)
    k= 1.0/sum(p)
    p = [p[i]*k for i in self.R]
elif prob[2]:      # с указанной для элемента idx вероятностью
                    # (границы prob[:2]) безошибочной передачи.
                    # ошибочные - случайные
    p[idx]= random.uniform(*prob[:2])
    k= (1.0-p[idx]) / (sum(p)-p[idx])
    p = [ p[i] if i==idx else p[i]*k for i in self.R]
else:              # idx-элемент с вероятностью безошибочной передачи
                    # и указанным диапазоном вероятностей для ошибки в
                    # канале (границы prob[:2])
    p[idx] = 1.0 - (sum(p) - p[idx])

while sum(p)!=1.0:
    p[-1] += 1.0 - sum(p) # python bug fix
return p

```

```

def lab3():
    global N
    header(3, 4)
    N_test = 6 # количество тестов
    tests = [infoSyS(N, prob=(10**(-9), 0.5/N), name="Тест "+str(i+1))
              for i in range(N_test)]

    for i in range(N_test):
        tests[i].prn()
        if i!=N_test-1:
            tmp = input("\nнажмите enter для следующего теста\n")

    print("\nСводная таблица тестов:")
    print("-"*95)
    print("Name   t cp,мкс\t H(Y)\t\t\t\t\t C\t\tH(Y/Z)\t\t I(Z,Y)\t\t C_\n"+"-"*95)

    for i in range(N_test):

```

```
print(tests[i].name, "\t", round(tests[i].t_10**6,3), "\t", \
round(tests[i].HY,4), "\t", range_bits(tests[i].I, 3), "\t", \
range_bits(tests[i].C, 3), "\t", round(tests[i].HYZ,4), "\t", \
range_bits(tests[i].IZ_Y,3), "\t", range_bits(tests[i].C_3), sep="")
```

```
def main():  
    lab3()
```

```
if __name__=="__main__":  
    main()
```