



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

5^η ΣΕΙΡΑ ΓΡΑΠΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Ειρήνη Δόντη

ΑΜ: 03119839

9ο εξάμηνο

Αθήνα 2023-2024

Για την επίλυση των μαθηματικών σχέσεων της εκάστοτε άσκησης χρησιμοποιούμε κώδικα σε Python.

Άσκηση 1

1. Η βέλτιστη κατανομή στοιχήματος στην k ιποδρομία, είναι εκείνη στην οποία γίνεται μέγιστος ο βέλτιστος ρυθμός διπλασιασμού, δηλαδή όταν $b^* = (b_0, b_1, \dots, b_6) = p = [\frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{3}{28}, \frac{1}{10}]$.
2. Για να βρούμε το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ χρειαζόμαστε τον βέλτιστο ρυθμό διπλασιασμού $W^*(p) = \sum p_i \log o_i - H^*(p) = 0.01066$, με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, όπου $o = [4, 5, 5, 7, 10, 10]$ και $p = [\frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{3}{28}, \frac{1}{10}]$. Το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ είναι ίσο με την τιμή S_{10} , δηλαδή ίσο με την τιμή του πλούτου παίκτη που χρησιμοποιεί σταθερά τη στρατηγική b , $S_n = 2^{nW(b,p)}$ με $n = 10$. Με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζουμε ότι $\frac{B_{10}}{B_0} = S_{10} = 1.0767$.
3. Για να βρούμε το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ με βάση το Ολλανδικό σύστημα, πρέπει να βρούμε την τιμή της παραμέτρου κανονικοποίησης $c = \frac{1}{\sum i \frac{1}{o_i}}$ το οποίο, με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζεται ως 1.0072. Οπότε, ομοίως με παραπάνω, υπολογίζουμε ότι $W^*(p) = \sum p_i \log c_i - H^*(p) = 0.0103$. Το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ είναι ίσο με την τιμή S_{10} , δηλαδή ίσο με την τιμή του πλούτου παίκτη που χρησιμοποιεί σταθερά τη στρατηγική b , $S_n = 2^{nW(b,p)}$ με $n = 10$. Με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζουμε ότι $\frac{B_{10}}{B_0} = S_{10} = 1.0743$.

4. Πολλαπλασιάζουμε τις αποδόσεις με τον συντελεστή $\frac{19}{20}$ και συνεπώς οι αποδόσεις είναι $o = [\frac{19}{5}, \frac{19}{4}, \frac{19}{4}, \frac{133}{20}, \frac{19}{2}, \frac{19}{2}]$. Με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζουμε ότι $\sum \frac{1}{o_i} = 1.04511 > 1$.

Βασιζόμενοι στη θεωρία, ισχύει ότι ο ρυθμός διπλασιασμού $W(b, p) =$

$$\sum p_i \log p_i o_i + \log K - D(p||r), \text{ όπου } K = b_0 (\sum \frac{1}{o_i} - 1) \text{ και } r_i = \frac{\frac{b_0}{o_i} + b_i}{K}. \text{ Η}$$

βέλτιστη κατανομή $b^* = (b_0, b_1, \dots, b_6)$ είναι εκείνη στην οποία γίνεται μέγιστος ο βέλτιστος ρυθμός διπλασιασμού, δηλαδή $K \rightarrow \infty$ και $D(p||r) = 0$.

Στην προκειμένη περίπτωση, κατατάσσουμε τα άλογα κατά σειρά ώστε $p_1 o_1 \geq$

$$p_2 o_2 \geq \dots \geq p_m o_m. \text{ Θεωρούμε } C_k = \begin{cases} \frac{1 - \sum_{i=1}^k p_i}{1 - \sum_{i=1}^k \frac{1}{o_i}} & \text{αν } k \geq 1 \\ 1 & \text{αν } k = 0 \end{cases} \text{ με } t =$$

$$\min \{n | p_{n+1} o_{n+1} \leq C_n\}.$$

Με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζουμε ότι $C_n = [1, 1, 1, 1, 0.9333, 0.0000]$ και $p_n o_n = [0.9500, 0.9500, 0.9500, 0.9500, 1.0179, 0.9500]$. Ταξινομούμε τον πίνακα $p_n o_n = [1.0179, 0.9500, 0.9500, 0.9500, 0.9500, 0.9500]$ και συνεπώς $C_n = [0.9333, 1, 1, 1, 1, 0.0000]$.

Οπότε, η βέλτιστη κατανομή στοιχήματος στην k υποδρομία είναι: $b_0 = C_t$, για $i = 1, 2, \dots, t$ $b_i = p_i - \frac{C_t}{o_i}$ και για $i = t + 1, \dots, m$ $b_i = 0$.

Οπότε, η βέλτιστη κατανομή είναι η $(0.9333, 0.0667, 0, 0, 0, 0)$.

5. Για να βρούμε το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ χρειαζόμαστε τον βέλτιστο ρυθμό διπλασιασμού

$$W(b, p) = \sum p_i \log p_i o_i + \log K - D(p||r), \text{ δηλαδή } K \rightarrow \infty \text{ και } D(p||r) = 0, \text{ με τη}$$

βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, όπου $o = [\frac{19}{5}, \frac{19}{4}, \frac{19}{4}, \frac{133}{20}, \frac{19}{2}, \frac{19}{2}]$ και $p = [\frac{1}{4}, \frac{1}{5},$

$\frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{3}{28}, \frac{1}{10}]$. Το πηλίκο $\frac{B_{10}}{B_0}$ είναι ίσο με την τιμή S_{10} , δηλαδή ίσο με την τιμή του

πλούτου παίκτη που χρησιμοποιεί σταθερά τη στρατηγική b , $S_n = 2^{nW(b,p)}$ με n

$= 10$. Με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, υπολογίζουμε ότι $\frac{B_{10}}{B_0} = S_{10} =$

0.6447.

Άσκηση 2

1. Θα χρησιμοποιήσουμε από το Project Gutenberg το έργο του Shakespeare «The Complete Works of William Shakespeare». Υπολογίζουμε τη συχνότητα

$\frac{\text{υπολογιζόμενος χαρακτήρας } x \text{ στο κείμενο}}{\text{συνολικοί χαρακτήρες}}$ που έχει κάθε γράμμα του αγγλικού

αλφαβήτου ή το κενό, αγνοώντας όλα τα άλλα σύμβολα και μη διακρίνοντας τα κεφαλαία από τα πεζά. Οπότε, με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου, προκύπτει ότι:

a: 0.0586, b: 0.0121, c: 0.0174, d: 0.0300, e: 0.0915, f: 0.0162, g: 0.0137, h: 0.0483, i: 0.0511, j: 0.0009, k: 0.0071, l: 0.0341, m: 0.0222, n: 0.0492, o: 0.0627, p: 0.0116, q: 0.0008, r: 0.0476, s: 0.0505, t: 0.0669, u: 0.0259, v: 0.0076, w: 0.0181, x: 0.0010, y: 0.0187, z: 0.0003, : 0.1561

2. Η εντροπία ανά χαρακτήρα υπολογίζεται, μέσω του μαθηματικού εργαλείου, με τον τύπο $H(X) =$

$$-\sum_{i=1}^{27} \frac{\text{υπολογιζόμενος χαρακτήρας } x \text{ στο κείμενο}}{\text{συνολικοί χαρακτήρες}} \log_2 \left(\frac{\text{υπολογιζόμενος χαρακτήρας } x \text{ στο κείμενο}}{\text{συνολικοί χαρακτήρες}} \right) \\ = 4.3106 \text{ bits}$$

3. Γεννάμε ένα τυχαίο κείμενο μήκους 100 χαρακτήρων σύμφωνα με την προσέγγιση πρώτης τάξης με τη βοήθεια των σχετικών συχνοτήτων που έχουν προκύψει στο πρώτο ερώτημα. Οπότε, με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου προκύπτει το παρακάτω κείμενο: “ pgin rsenlambnnpbed bktannfu evlyladk osuben tiitwyteiu mw seira gmns htdec etghiiamrsloradi loar”.

4. Εκτελούμε τα ίδια για ζεύγη χαρακτήρων. Η εντροπία ανά ζεύγη χαρακτήρων

υπολογίζεται, μέσω του μαθηματικού εργαλείου, με τον τύπο $\frac{1}{2}H(X) =$

$$-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{27} \frac{\text{υπολογιζόμενα ζεύγη χαρακτήρων στο κείμενο}}{\text{συνολικοί χαρακτήρες}} \log_2 \left(\frac{\text{υπολογιζόμενα ζεύγη χαρακτήρων στο κείμενο}}{\text{συνολικοί χαρακτήρες}} \right) =$$

3.9057 bits.

Γεννάμε ένα τυχαίο κείμενο μήκους 100 χαρακτήρων σύμφωνα με την προσέγγιση δεύτερης τάξης με τη βοήθεια των σχετικών συχνοτήτων που έχουν προκύψει στο ερώτημα. Οπότε, με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου προκύπτει το παρακάτω κείμενο:

“dtarthentwotnhmeirhtineuebbehesaneintathyoyahctoeroriundletrhanthuetedcerlis
dhbedithoaawndhnnreinioorbehafehbfigfenomndetyoerunmeiroteaoueewaracny
ellttthenaveorndesmyttyeunybodobehtlelstntghewftelekn”

5. Προχωράμε σε ανώτερες τάξεις και παρατηρούμε ότι μπορούμε να γεννήσουμε κείμενο μέχρι τη προσέγγιση της δεύτερης τάξης.

Παράθεση Κώδικα σε Γλώσσα Προγραμματισμού Python

Άσκηση 1

Είσοδος:

2.

```
from math import log  
  
p = [1/4, 1/5, 1/5, 1/7, 3/28, 1/10]
```

```

o = [4, 5, 5, 7, 10, 10]
W = sum(p[i]*log(p[i]*o[i],2) for i in range(len(p)))
W = round(W,5)
print("W =", W)
doubling_factor = round(2**W,5)
print("Doubling Factor =", doubling_factor)
print("S10 = ", round(2**(10*W),5))

```

3.

```

temp = sum(1/i for i in o)
c = round(1/temp,5)
print("c = ", c)
ci = [c, c, c, c, c, c]
W = sum(p[i]*log(ci[i],2) for i in range(len(p)))
W = round(W,5)
print("W =", W)
doubling_factor = round(2**W,5)
print("Doubling Factor =", doubling_factor)
print("S10 = ", round(2**(10*W),5))

```

4.

```

p = [1/4, 1/5, 1/5, 1/7, 3/28, 1/10]
o = [4, 5, 5, 7, 10, 10]
r = [19/20, 19/20, 19/20, 19/20, 19/20, 19/20]
o_new = [a * b for a, b in zip(r, o)]
temp = sum(1/i for i in o_new)
print("temp = ", temp)

def calculate_expression(k, p_values, o_values):
    numerator_sum = sum(p_values[:k])
    denominator_sum = sum([1/o for o in o_values[:k]])

    numerator = 1 - numerator_sum
    denominator = 1 - denominator_sum

    result = numerator / denominator
    return result

```

```

p_values = [1/4, 1/5, 1/5, 1/7, 3/28, 1/10]

o_values = [4, 5, 5, 7, 10, 10]

for k in range(1, 7): # k varies from 1 to 6
    result = calculate_expression(k, p_values, o_values)
    print(f"Cn for k={k}: {result}")

po = [a * b for a, b in zip(p, o_new)]
print("pn*on = ", po)

```

5.

```

from math import log

p = [1/4, 1/5, 1/5, 1/7, 3/28, 1/10]
o = [4, 5, 5, 7, 10, 10]
r = [19/20, 19/20, 19/20, 19/20, 19/20, 19/20]
o_new = [a * b for a, b in zip(r, o)]
W = sum(p[i]*log(p[i]*o_new[i],2) for i in range(len(p)))
W = round(W,5)
print("W =", W)
doubling_factor = round(2**W,5)
print("Doubling Factor =", doubling_factor)
print("S10 = ", round(2**(10*W),5))

```

Έξοδος:

2.

```

W = 0.01066
Doubling Factor = 1.00742
S10 = 1.07669

```

3.

```
c = 1.00719
W = 0.01034
Doubling Factor = 1.00719
S10 = 1.0743
```

4.

```
temp = 1.045112781954887
```

```
Cn for k=1: 1.0
Cn for k=2: 1.0
Cn for k=3: 1.0
Cn for k=4: 1.0
Cn for k=5: 0.9333333333333336
Cn for k=6: 0.0
pn*on = [0.95, 0.9500000000000001, 0.9500000000000001,
0.9499999999999998, 1.0178571428571428,
0.9500000000000001]
```

5.

```
W = -0.06334
Doubling Factor = 0.95705
S10 = 0.64466
```

Άσκηση 2

Είσοδος:

1.

```
import requests
from collections import Counter

def calculate_relative_frequency(text):
    # Convert text to lowercase and filter out non-
    alphabetic characters
    cleaned_text = ''.join(char.lower() for char in text
    if char.isalpha() or char.isspace())

    # Calculate total number of characters
    total_characters = len(cleaned_text)

    # Use Counter to calculate letter frequency
    letter_frequency = Counter(cleaned_text)

    # Calculate and display relative frequencies
    for letter in "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ":
        count = letter_frequency[letter]
        frequency = count / total_characters
        print(f"{letter}: {frequency:.4f}")

if __name__ == "__main__":
    # "The Complete Works of William Shakespeare"
    url = "https://www.gutenberg.org/files/100/100-0.txt"
    response = requests.get(url)
    input_text = response.text

    # Calculate and display relative letter frequencies
    calculate_relative_frequency(input_text)
```

2.

```
import math
from collections import Counter

def calculate_letter_frequency(text):
    # Convert text to lowercase and filter out non-
    alphabetic characters
```

```

        cleaned_text = ''.join(char.lower() for char in text
if char.isalpha() or char.isspace())

    # Use Counter to calculate letter frequency
    letter_frequency = Counter(cleaned_text)

    # Calculate total number of characters
    total_characters = len(cleaned_text)

    # Calculate entropy
    entropy = -sum((count/total_characters) *
math.log2(count/total_characters) for count in
letter_frequency.values())

    return entropy/1

if __name__ == "__main__":
    # "The Complete Works of William Shakespeare"
    url = "https://www.gutenberg.org/files/100/100-0.txt"
    response = requests.get(url)
    input_text = response.text

    # Calculate entropy per character
    entropy_per_character =
calculate_letter_frequency(input_text)

    print(f"Entropy per character:
{entropy_per_character} bits")

```

3.

```

import random

# Relative frequencies from the first question (adjusted
to percentages)
relative_frequencies = {
    'a': 0.0586, 'b': 0.0121, 'c': 0.0174, 'd': 0.0300,
    'e': 0.0915, 'f': 0.0162, 'g': 0.0137,
    'h': 0.0483, 'i': 0.0511, 'j': 0.0009, 'k': 0.0071,
    'l': 0.0341, 'm': 0.0222, 'n': 0.0492,
    'o': 0.0627, 'p': 0.0116, 'q': 0.0008, 'r': 0.0476,
    's': 0.0505, 't': 0.0669, 'u': 0.0259,

```

```

    'v': 0.0076, 'w': 0.0181, 'x': 0.0010, 'y': 0.0187,
    'z': 0.0003, ' ': 0.1561
}

# Convert percentage frequencies to probabilities
probabilities = {char: freq/100 for char, freq in
relative_frequencies.items()}

# Generate random text 100 characters long
random_text =
''.join(random.choices(list(probabilities.keys()),
weights=list(probabilities.values()), k=100))

print(random_text)

```

4.

```

import requests
from collections import Counter

def calculate_relative_pair_frequency(text):
    # Filter out non-alphabetic characters and convert to
    lowercase
    cleaned_text = ''.join(char.lower() for char in text
if char.isalpha() and 'a' <= char <= 'z')

    # Create pairs from the cleaned text
    pairs = [cleaned_text[i:i+2] for i in
range(len(cleaned_text)-1)]

    # Use Counter to calculate pair frequency
    pair_frequency = Counter(pairs)

    # Calculate the total number of character pairs
    total_pairs = len(pairs)

    # Calculate relative frequency and display the
    results
    for pair in [f"{a}{b}" for a in
'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz' for b in
'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz']:
        count = pair_frequency[pair]

```

```

        relative_frequency = count / total_pairs
        print(f"{pair}: {relative_frequency}")

if __name__ == "__main__":
    # "The Complete Works of William Shakespeare"
    url = "https://www.gutenberg.org/files/100/100-0.txt"
    response = requests.get(url)
    input_text = response.text

    # Calculate and display relative pair frequency
    calculate_relative_pair_frequency(input_text)
import requests
import math
from collections import Counter

def calculate_relative_pair_entropy(text):
    # Filter out non-alphabetic characters and convert to
    lowercase
    cleaned_text = ''.join(char.lower() for char in text
if char.isalpha() and 'a' <= char <= 'z')

    # Create pairs from the cleaned text
    pairs = [cleaned_text[i:i+2] for i in
range(len(cleaned_text)-1)]

    # Use Counter to calculate pair frequency
    pair_frequency = Counter(pairs)

    # Calculate the total number of character pairs
    total_pairs = len(pairs)

    # Calculate relative frequency
    relative_frequencies = [pair_frequency[pair] /
total_pairs for pair in [f"{a}{b}" for a in
'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz' for b in
'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz']]

    # Calculate entropy
    entropy = -sum(freq * math.log2(freq) for freq in
relative_frequencies if freq > 0)

    return entropy/2

if __name__ == "__main__":

```

```

# "The Complete Works of William Shakespeare"
url = "https://www.gutenberg.org/files/100/100-0.txt"
response = requests.get(url)
input_text = response.text

# Calculate and display entropy of relative pair
frequency
entropy = calculate_relative_pair_entropy(input_text)
print(f"Entropy of relative pair frequency: {entropy}
bits")
import random

# Relative frequencies for pairs of characters (adjusted
to percentages)
relative_pair_frequencies = {
'aa': 0.00014578384307154706, 'ab':
0.0010940677825974326, 'ac': 0.0025053325470008212, 'ad':
0.0030203987146770433, 'ae': 0.0002948746920350763, 'af':
0.0008025000964543385, 'ag': 0.0015055144323248802,
'ah': 0.0003301494215495527, 'ai': 0.003284683602211285,
'aj': 0.00011519403857071205, 'ak':
0.0021029801634763244, 'al': 0.005975208479163107, 'am':
0.002860560096564572, 'an': 0.014269179256254375,
'ao': 0.00014137450188223753, 'ap':
0.0012475679727502714, 'aq': 4.1337573649777054e-05,
'ar': 0.009103084885329571, 'as': 0.0058046220919016935,
'at': 0.010764028594577613, 'au': 0.001024896242690139,
'av': 0.003253267046237454, 'aw': 0.0010516278736503282,
'ax': 6.421103106932036e-05, 'ay': 0.0031336636664774323,
'az': 0.00010003692823246046, 'ba': 0.001006983294108569,
'bb': 0.00011023352973273881,
'bc': 2.7558382433184703e-06, 'bd': 3.251889127115795e-
05, 'be': 0.00498944513952809, 'bf': 3.5825897163140114e-
06, 'bg': 2.204670594654776e-06, 'bh':
3.7754983933463044e-05, 'bi': 0.0004954997161486609,
'bj': 7.523438404259424e-05, 'bk': 1.102335297327388e-06,
'bl': 0.0016322829915175298, 'bm': 1.7086197108574514e-
05, 'bn': 9.921017675946493e-06, 'bo':
0.0014324847188769408, 'bp': 1.653502945991082e-06,
'bq': 0.0, 'br': 0.0013189441832522199, 'bs':
0.0001876725843699878, 'bt': 0.00014082333423357383,
'bu': 0.001621259638544256, 'bv': 1.3779191216592351e-06,
'bw': 1.1298936797605728e-05, 'bx': 1.3779191216592351e-
06,

```

```
'by': 0.0009678503910534467, 'bz': 0.0, 'ca':  
0.0021396328121124604, 'cb': 2.5629295662861772e-05,  
'cc': 0.00022956132566842856, 'cd': 4.712483396074584e-  
05, 'ce': 0.004580478744219629, 'cf': 6.062844135300634e-  
06,  
'cg': 2.7558382433184703e-06, 'ch': 0.004116671167869131,  
'ci': 0.0007377378977363545, 'cj': 5.51167648663694e-07,  
'ck': 0.0013646910980913065, 'cl': 0.0006024262399894175,  
'cm': 8.543098554287257e-06,  
'cn': 9.369850027282799e-06, 'co': 0.0038989599466469718,  
'cp': 1.6535029459910822e-05, 'cq': 3.7754983933463044e-  
05, 'cr': 0.0007914767434810646, 'cs':  
2.6180463311525467e-05, 'ct': 0.0010361951794877447,  
'cu': 0.0006707710284237157, 'cv': 1.929086770322929e-06,  
'cw': 1.9842035351892987e-05, 'cx': 1.102335297327388e-  
06, 'cy': 0.00017885390199136872, 'cz': 0.0, 'da':  
0.0035638500162594455, 'db': 0.0012194584226684231,  
'dc': 0.0006418347268688717, 'dd': 0.0008551366069017213,  
'de': 0.005216801794601864, 'df': 0.001093241031124437,  
'dg': 0.0005861667943538386, 'dh': 0.0022741177183864016,  
'di': 0.0037606168668323846,  
'dj': 4.4644579541759216e-05, 'dk':  
0.0001705863872614133, 'dl': 0.001116941240016976, 'dm':  
0.0014462639100935332, 'dn': 0.0013002044831976543, 'do':  
0.0045474086852998075, 'dp': 0.0005109324103112444, 'dq':  
4.4920163366091065e-05,  
'dr': 0.0012566622389532224, 'ds': 0.0035707396118677417,  
'dt': 0.0031427579326803834, 'du': 0.0009215523085656964,  
'dv': 0.0002314904124387515, 'dw': 0.0015548439368802808,  
'dx': 5.621910016369679e-05,  
'dy': 0.0013892180584568407, 'dz': 8.26751472995541e-07,  
'ea': 0.012347533249188405, 'eb': 0.0021013266605303337,  
'ec': 0.0032361808491288796, 'ed': 0.006577359135328193,  
'ee': 0.006731410493129695, 'ef': 0.0029553609321347272,  
'eg': 0.001462798939553444, 'eh': 0.004467489376243572,  
'ei': 0.004505795527825699, 'ej': 0.00011574520621937575,  
'ek': 0.0005106568264869125, 'el': 0.006199809295993563,  
'em': 0.004730671928480486, 'en': 0.011970810161326772,  
'eo': 0.004110883907558162, 'ep': 0.002369469721605221,  
'eq': 0.00021660888592483176, 'er': 0.01733560046959484,  
'es': 0.013002320415800874, 'et': 0.009624489480965425,  
'eu': 0.0014255951232686446, 'ev': 0.001815546234698208,  
'ew': 0.0036490054179779863, 'ex': 0.0006481731548285042,  
'ey': 0.0028922522363627346, 'ez': 2.1495538297884068e-  
05, 'fa': 0.0026555257312616777, 'fb':
```

```
0.00016755496519376298, 'fc': 0.0001446815077742197,
'fd': 0.00017334222550473177,
'fe': 0.0021514829165587297, 'ff': 0.0010662338163399162,
'fg': 0.00011161144885439804, 'fh': 0.000727816880060408,
'fi': 0.0017033836181951465, 'fj': 2.0668786824888527e-
05, 'fk': 2.948746920350763e-05, 'fl':
0.0007291947991820672,
'fm': 0.000549514145717703, 'fn': 0.000214404215330177,
'fo': 0.004560361125043404, 'fp': 0.00013806749599025537,
'fq': 1.0472185324610186e-05, 'fr':
0.0015449229192043344, 'fs': 0.00041695832621408454,
'ft': 0.002057233248637238,
'fu': 0.0008049803508733251, 'fv': 3.7754983933463044e-
05, 'fw': 0.0002948746920350763, 'fx':
6.338427959632482e-06, 'fy': 0.0005191999250411998, 'fz':
1.653502945991082e-06, 'ga': 0.001543545000082675, 'gb':
0.00023507300215506552,
'gc': 0.00010995794590840696, 'gd':
0.00022763223889810564, 'ge': 0.0026505652224237046,
'gf': 0.00019676685057293876, 'gg':
0.00022239614623580054, 'gh': 0.0031780326621948596,
'gi': 0.0011651684092750492, 'gj': 9.369850027282799e-06,
'gk': 2.1495538297884068e-05, 'gl':
0.0006404568077472125, 'gm': 0.00025353711838529925,
'gn': 0.0004886101205403648, 'go': 0.0023330926567934167,
'gp': 9.838342528646938e-05, 'gq': 4.684925013641399e-06,
'gr': 0.001428350961511963,
'gs': 0.00082509797004955, 'gt': 0.0006600232592747736,
'gu': 0.0007096283476545061, 'gv': 2.0393203000556678e-
05, 'gw': 0.0002471986904256668, 'gx':
1.3779191216592351e-05, 'gy': 0.00013531165774693688,
'gz': 2.75583824331847e-07,
'ha': 0.013161056698616018, 'hb': 0.0003607392260503877,
'hc': 0.00025215919926364, 'hd': 0.00037369166579398456,
'he': 0.023924809709369298, 'hf': 0.0003243621612385839,
'hg': 0.00013531165774693688, 'hh':
0.0008645064569290041,
'hi': 0.00960878120297851, 'hj': 1.5983861811247128e-05,
'hk': 4.2439908947104444e-05, 'hl': 0.000275583824331847,
'hm': 0.0006467952357068449, 'hn': 0.0004957752999729928,
'ho': 0.007155809582600739, 'hp': 0.0001997982726405891,
'hq': 1.2401272094933116e-05, 'hr':
0.0007878941537647506, 'hs': 0.0007810045581564544, 'ht':
0.003107483203165907, 'hu': 0.0009725353160670881, 'hv':
```

```
4.5471331014754756e-05, 'hw': 0.0004541621424988839,
'hx': 2.2873457419543302e-05,
'hy': 0.0022482128388992078, 'hz': 8.26751472995541e-07,
'ia': 0.000900607937916476, 'ib': 0.00024416726835801647,
'ic': 0.002527103669123037, 'id': 0.0020021164837708684,
'ie': 0.00290796051434965, 'if': 0.0013757144510645803,
'ig': 0.0020114863337981513, 'ih': 9.921017675946493e-06,
'ii': 5.236092662305093e-06, 'ij': 1.102335297327388e-06,
'ik': 0.0007415960712770003, 'il': 0.004258045669751368,
'im': 0.002790561805184283, 'in': 0.014544763080586222,
'io': 0.002150931748910066, 'ip': 0.00047483092932377243,
'iq': 2.1771122122215913e-05, 'ir':
0.0032863371051572755, 'is': 0.01001168475415167, 'it':
0.00831215930949717, 'iu': 0.00035136937602310494, 'iv':
0.0015948035914083987,
'iw': 6.062844135300634e-06, 'ix':
0.00011381611944905282, 'iy': 3.5825897163140114e-06,
'iz': 0.00010968236208407511, 'ja': 6.558895019097959e-
05, 'jb': 0.0, 'jc': 0.0, 'jd': 0.0, 'je':
0.00029900844940005403, 'jf': 0.0, 'jg': 0.0, 'jh': 0.0,
'ji': 3.5825897163140114e-06, 'jj': 0.0, 'jk': 0.0, 'jl':
0.0, 'jm': 0.0, 'jn': 0.0, 'jo': 0.00021412863150584513,
'jp': 0.0, 'jq': 0.0, 'jr': 0.0, 'js': 0.0, 'jt': 0.0,
'ju': 0.0002631825522369139, 'jv': 0.0, 'jw': 0.0, 'jx':
0.0, 'jy': 0.0, 'jz': 0.0,
'ka': 0.00035109379219877313, 'kb': 7.247854579927576e-
05, 'kc': 3.885731923079043e-05, 'kd':
0.00014385475630122413, 'ke': 0.0031140972149498714,
'kf': 0.00011106028120573435, 'kg': 2.0393203000556678e-
05, 'kh': 0.0002915676861430941,
'ki': 0.0011852860284512741, 'kj': 1.102335297327388e-06,
'kk': 6.062844135300634e-06, 'kl':
0.00018023182111302796, 'km': 0.00013145348420629102,
'kn': 0.0011830813578566192, 'ko': 0.000380030093753617,
'kp': 4.4368995717427367e-05,
'kq': 3.307005891982164e-06, 'kr': 4.6298082487750296e-
05, 'ks': 0.0007234075388710984, 'kt':
0.00041447807179509794, 'ku': 9.865900911080123e-05,
'kv': 6.8895956082961755e-06, 'kw':
0.00019015283878897444, 'kx': 7.991930905623564e-06,
'ky': 0.00022322289770879608, 'kz': 0.0, 'la':
0.00380030093753617, 'lb': 0.0007305727183037265, 'lc':
0.00044617021159326035, 'ld': 0.003545661483853544, 'le':
0.006328782525780867, 'lf': 0.001116665656192644, 'lg':
0.00022239614623580054,
```



```
'lh': 0.0007779731360888041, 'li': 0.004066239328016402,
'lj': 1.5432694162583433e-05, 'lk':
0.00033979485540116736, 'll': 0.008853957108133581, 'lm':
0.0006671884387074017, 'ln': 0.0006010483208677583,
'lo': 0.0051236544619777, 'lp': 0.00043707594539030937,
'lq': 1.7912948581570057e-05, 'lr':
0.0002664895581288961, 'ls': 0.0016074804473276637, 'lt':
0.0018982213819977623, 'lu': 0.0006481731548285042,
'lv': 0.000284678090534798, 'lw': 0.00045691798074220234,
'lx': 4.1061989825445205e-05, 'ly':
0.0021280582914905226, 'lz': 1.102335297327388e-06, 'ma':
0.004752443050602702, 'mb': 0.0008187595420899175,
'mc': 9.314733262416429e-05, 'md':
0.00018491674612666935, 'me': 0.00795279800256844, 'mf':
0.00029432352438641264, 'mg': 8.32263149482178e-05, 'mh':
0.0004938462132026699, 'mi': 0.0021823483048838965,
'mj': 6.614011783964328e-06, 'mk': 2.8385133906180242e-
05, 'ml': 0.00015046876808518848, 'mm':
0.000585340042880843, 'mn': 0.0003957383717405323, 'mo':
0.002980990227797589, 'mp': 0.0010463917809880232,
'mq': 6.338427959632482e-06, 'mr': 9.590317086748277e-05,
'ms': 0.000875529809902278, 'mt': 0.000734982059493036,
'mu': 0.0011056423032193702, 'mv': 1.8739700054565598e-
05, 'mw': 0.0002562929566286177,
'mx': 2.3424625068206997e-05, 'my': 0.00352719736762331,
'mz': 2.75583824331847e-07, 'na': 0.0029231176246879015,
'nb': 0.0005690805972452641, 'nc': 0.0028961104099033803,
'nd': 0.013277904240132721,
'ne': 0.006191541781263607, 'nf': 0.0008438376701041156,
'ng': 0.006795345940374684, 'nh': 0.001810310142035903,
'ni': 0.002365335964240243, 'nj': 0.00012511505624665856,
'nk': 0.000945803685106899,
'nl': 0.000729470383006399, 'nm': 0.000985487755810685,
'nn': 0.0011196970782602945, 'no': 0.007972364454096003,
'np': 0.00037424283344264823, 'nq':
0.0001055486047190974, 'nr': 0.00044286320570127816,
'ns': 0.003502119239609112, 'nt': 0.008872696808188146,
'nu': 0.0005426245501094068, 'nv': 0.0002356241698037292,
'nw': 0.0008201374612115767, 'nx': 4.9329504555400615e-
05, 'ny': 0.0013296919524011619,
'nz': 2.1495538297884068e-05, 'oa':
0.0012252456829793918, 'ob': 0.0013073696626302823, 'oc':
0.000989070345526999, 'od': 0.0025913147001923576, 'oe':
0.0008292317274145276, 'of': 0.005878202972998297,
```

'og': 0.0005406954633390839, 'oh': 0.001102335297327388,
'oi': 0.0009719841484184244, 'oj': 6.999829138028915e-05,
'ok': 0.0009190720541467098, 'ol': 0.002826112118523091,
'om': 0.0057291121240347674,
'on': 0.009207255570927008, 'oo': 0.004063207905948753,
'op': 0.00113843677831486, 'oq': 3.334564274415349e-05,
'or': 0.010923040461217089, 'os': 0.0031843710901544925,
'ot': 0.006982191773271676,
'ou': 0.016259445635578976, 'ov': 0.0016992498608301688,
'ow': 0.005466205155622185, 'ox': 6.86203722586299e-05,
'oy': 0.0009356070836066206, 'oz': 4.16131574741089e-05,
'pa': 0.0018849933584298335,
'pb': 3.527472951447642e-05, 'pc': 2.866071773051209e-05,
'pd': 7.3856464920935e-05, 'pe': 0.002615841660557892,
'pf': 4.1061989825445205e-05, 'pg': 1.1574520621937574e-05, 'ph': 0.0004698704204857992,
'pi': 0.000992928519067645, 'pj': 1.3779191216592351e-06,
'pk': 9.645433851614646e-06, 'pl': 0.0012415051286149708,
'pm': 7.330529727227131e-05, 'pn': 6.91715399072936e-05,
'po': 0.0020134154205684743,
'pp': 0.000637700969503894, 'pq': 1.929086770322929e-06,
'pr': 0.002141837482707115, 'ps': 0.0003618415613477151,
'pt': 0.0006283311194766112, 'pu': 0.0006219926915169787,
'pv': 3.858173540645858e-06,
'pw': 7.3856464920935e-05, 'px': 7.165179432628023e-06,
'py': 0.0001664526298964356, 'pz': 0.0, 'qa': 0.0, 'qb': 0.0, 'qc': 0.0, 'qd': 0.0, 'qe': 0.0, 'qf': 0.0, 'qg': 0.0, 'qh': 0.0, 'qi': 0.0, 'qj': 0.0, 'qk': 0.0, 'ql': 0.0, 'qm': 0.0, 'qn': 0.0, 'qo': 0.0, 'qp': 0.0, 'qq': 0.0, 'qr': 0.0, 'qs': 0.0, 'qt': 0.0, 'qu': 0.0007771463846158085, 'qv': 0.0, 'qw': 0.0, 'qx': 0.0, 'qy': 0.0, 'qz': 0.0, 'ra': 0.00539813595101222, 'rb': 0.0009251348982820104, 'rc': 0.0013013068184949815, 'rd': 0.003656446181234946, 're': 0.013605297823438955, 'rf': 0.0010706431575292256, 'rg': 0.0008769077290239373, 'rh': 0.001799562372886961, 'ri': 0.005114284611950417, 'rj': 6.421103106932036e-05, 'rk': 0.000646519651882513, 'rl': 0.0013398885539014401, 'rm': 0.0017122023005737654, 'rn': 0.0017918460258056694, 'ro': 0.006077174494165891, 'rp': 0.0008228932994548952, 'rq': 5.7597019285356025e-05, 'rr': 0.0016207084708955923, 'rs': 0.0048188587522666766, 'rt': 0.00545490621882458, 'ru': 0.0016460621827341223, 'rv': 0.0005980168988001081,

```
'rw': 0.0012076083182221537, 'rx': 5.3187678096046474e-
05, 'ry': 0.0020710124398538306, 'rz':
1.3779191216592351e-06, 'sa': 0.005319594561077643, 'sb':
0.001342368808320427, 'sc': 0.00150248301025723,
'sd': 0.0011340274371255505, 'se': 0.008050630260206247,
'sf': 0.0012649297536831779, 'sg': 0.0005806551178672017,
'sh': 0.00683806143314612, 'si': 0.004479615064514174,
'sj': 5.263651044738278e-05,
'sk': 0.00035219612749610047, 'sl':
0.0013429199759690904, 'sm': 0.001583504654610793, 'sn':
0.0016322829915175298, 'so': 0.0058308025552132195, 'sp':
0.0021950251608031613, 'sq': 8.129722817789486e-05,
'sr': 0.0006054576620570679, 'ss': 0.00436276752299747,
'st': 0.011910181719973765, 'su': 0.0021481759106667473,
'sv': 0.00018849933584298337, 'sw':
0.0023430136744693633, 'sx': 6.365986342065666e-05,
'sy': 0.0007881697375890825, 'sz': 1.653502945991082e-06,
'ta': 0.005059167847084048, 'tb': 0.0011698533342886907,
'tc': 0.0011031620488003836, 'td': 0.0007713591243048397,
'te': 0.007486510171798956,
'tf': 0.001026825329460462, 'tg': 0.00039188019819988646,
'th': 0.03150942772263039, 'ti': 0.005648090479681205,
'tj': 4.5195747190422914e-05, 'tk':
0.00022487640065478717, 'tl': 0.0018486162936180298,
'tm': 0.0015636626192589, 'tn': 0.0013930762319974866,
'to': 0.009555317941058131, 'tp': 0.000578174863448215,
'tq': 3.9959654528117816e-05, 'tr':
0.0030482326809345597, 'ts': 0.0038325442449829964,
'tt': 0.004997712654258046, 'tu': 0.0018020426273059476,
'tv': 0.0001014148473541197, 'tw': 0.0022994714302249316,
'tx': 5.98016898800108e-05, 'ty': 0.0020668786824888526,
'tz': 1.1850104446269421e-05,
'ua': 0.0010488720354070097, 'ub': 0.0006145519282600188,
'uc': 0.0016342120782878529, 'ud': 0.0008168304553195946,
'ue': 0.001381501711375549, 'uf': 0.00037176257902366163,
'ug': 0.0013633131789696472,
'uh': 0.0005864423781781705, 'ui': 0.0007275412962360761,
'uj': 1.0196601500278339e-05, 'uk':
0.0003527472951447642, 'ul': 0.003044925675042578, 'um':
0.00110261088115172, 'un': 0.0033174780773067743,
'uo': 0.00033262967596853937, 'up':
0.0011433972871528332, 'uq': 5.787260310968787e-06, 'ur':
0.0068044402065776345, 'us': 0.0051107020222341025, 'ut':
0.004340169649402259, 'uu': 6.44866148936522e-05,
```

```

'uv': 2.5078128014198078e-05, 'uw':
0.00047455534549944057, 'ux': 2.948746920350763e-05,
'uy': 9.424966792149169e-05, 'uz': 9.369850027282799e-06,
'va': 0.0005208534279871909, 'vb': 0.0, 'vc': 0.0,
'vd': 0.00011298936797605728, 've': 0.007756582319644166,
'vf': 0.0, 'vg': 0.0, 'vh': 0.0, 'vi':
0.0013553212480640236, 'vj': 0.0, 'vk': 0.0, 'vl':
8.26751472995541e-07, 'vm': 0.0, 'vn':
3.858173540645858e-06,
'vo': 0.0004142024879707661, 'vp': 0.0, 'vq': 0.0, 'vr':
4.684925013641399e-06, 'vs': 2.2597873595211457e-05,
'vt': 0.0, 'vu': 1.4605942689587891e-05, 'vv': 0.0, 'vw':
0.0, 'vx': 0.0, 'vy': 0.00010224159882711524,
'vz': 0.0, 'wa': 0.0026574548180320007, 'wb':
0.00011905221211135791, 'wc': 9.342291644849614e-05,
'wd': 0.00019952268881625725, 'we':
0.0038036079434281525, 'wf': 0.00014385475630122413,
'wg': 5.8423770758351565e-05, 'wh':
0.0030553978603671877, 'wi': 0.005232785656413112, 'wj':
4.960508837973247e-06, 'wk': 2.2046705946547762e-05,
'wl': 0.0001951133476269477, 'wm':
0.00025601737280428585,
'wn': 0.0012059548152761625, 'wo': 0.0027971758169682472,
'wp': 5.180975897438724e-05, 'wq': 4.684925013641399e-06,
'wr': 0.0004274305115386947, 'ws': 0.0007358088109660315,
'wt': 0.0004908147911350196,
'wu': 5.9526106055678954e-05, 'wv': 9.094266202950952e-
06, 'ww': 0.00018601908142399675, 'wx':
9.921017675946493e-06, 'wy': 0.00016700379754509928,
'wz': 0.0, 'xa': 7.440763256959869e-05,
'xb': 2.4802544189866234e-06, 'xc':
0.0001634212078287853, 'xd': 1.5983861811247128e-05,
'xe': 0.0004117222335517794, 'xf': 1.4881526513919739e-
05, 'xg': 1.929086770322929e-06, 'xh':
1.6810613284242668e-05,
'xi': 0.0003298738377252209, 'xj': 5.51167648663694e-07,
'xk': 5.51167648663694e-07, 'xl': 3.5825897163140114e-06,
'xm': 8.267514729955411e-06, 'xn': 3.5825897163140114e-
06, 'xo': 2.3975792716870692e-05,
'xp': 0.00011050911355707066, 'xq': 3.5825897163140114e-
06, 'xr': 3.031422067650317e-06, 'xs':
5.5116764866369405e-06, 'xt': 0.0001882237520186515,
'xu': 7.991930905623564e-06, 'xv': 0.0,
'xw': 6.338427959632482e-06, 'xx': 8.26751472995541e-07,
'xy': 5.5116764866369405e-06, 'xz': 0.0, 'ya':

```

```

0.0014385475630122415, 'yb': 0.0008352945715498283, 'yc':
0.0006104181708950411, 'yd': 0.0006666372710587379,
'ye': 0.0015683475442725414, 'yf': 0.0008350189877254964,
'yg': 0.0004312886850793406, 'yh': 0.0015113016926358491,
'yi': 0.0008182083744412538, 'yj': 4.9605088379732464e-
05, 'yk': 0.0001366895768685961,
'yl': 0.0012255212668037237, 'ym': 0.0009898970969999944,
'yn': 0.0006192368532736603, 'yo': 0.006849911537592389,
'yp': 0.0005688050134209323, 'yq': 2.590487948719362e-05,
'yr': 0.00044754813071491955,
'ys': 0.0022247882138310008, 'yt': 0.0018747967569295552,
'yu': 0.00024141143011469798, 'yv':
0.00013255581950361842, 'yw': 0.0009146627129574003,
'yx': 6.117960900167003e-05, 'yy': 0.0004447922924716011,
'yz': 5.236092662305093e-06, 'za': 5.180975897438724e-05,
'zb': 8.26751472995541e-07, 'zc': 8.26751472995541e-07,
'zd': 1.6810613284242668e-05, 'ze':
0.0001810585725860235, 'zf': 8.26751472995541e-07,
'zg': 5.51167648663694e-07, 'zh': 8.26751472995541e-07,
'zi': 1.7086197108574514e-05, 'zj': 0.0, 'zk': 0.0, 'zl':
9.921017675946493e-06, 'zm': 2.4802544189866234e-06,
'zn': 5.51167648663694e-07,
'zo': 2.2046705946547762e-05, 'zp': 1.3779191216592351e-
06, 'zq': 0.0, 'zr': 5.51167648663694e-07, 'zs':
2.75583824331847e-07, 'zt': 2.204670594654776e-06, 'zu':
3.5825897163140114e-06,
'zv': 3.031422067650317e-06, 'zw': 2.7558382433184703e-
06, 'zx': 0.0, 'zy': 9.369850027282799e-06, 'zz':
1.5157110338251586e-05
}

# Convert percentage frequencies to probabilities
pair_probabilities = {pair: freq/100 for pair, freq in
relative_pair_frequencies.items()}

# Generate random text 100 pairs long
random_text_pairs =
''.join(random.choices(list(pair_probabilities.keys()),
weights=list(pair_probabilities.values()), k=100))

print(random_text_pairs)

```

Έξοδος:

1.

```
a: 0.0586
b: 0.0121
c: 0.0174
d: 0.0300
e: 0.0915
f: 0.0162
g: 0.0137
h: 0.0483
i: 0.0511
j: 0.0009
k: 0.0071
l: 0.0341
m: 0.0222
n: 0.0492
o: 0.0627
p: 0.0116
q: 0.0008
r: 0.0476
s: 0.0505
t: 0.0669
u: 0.0259
v: 0.0076
w: 0.0181
x: 0.0010
y: 0.0187
z: 0.0003
: 0.1561
```

2.

Entropy per character: 4.310609149942396 bits

3.

```
pgin rsenlambnnpbed bktannfu  evlyladk osuben tiitwyteiu
mw seira  gmns  htdec etghiiamrsloradi loar
```

4.

aa: 0.00014578384307154706
ab: 0.0010940677825974326
ac: 0.0025053325470008212
ad: 0.0030203987146770433
ae: 0.0002948746920350763
af: 0.0008025000964543385
ag: 0.0015055144323248802
ah: 0.0003301494215495527
ai: 0.003284683602211285
aj: 0.00011519403857071205
ak: 0.0021029801634763244
al: 0.005975208479163107
am: 0.002860560096564572
an: 0.014269179256254375
ao: 0.00014137450188223753
ap: 0.0012475679727502714
aq: 4.1337573649777054e-05
ar: 0.009103084885329571
as: 0.0058046220919016935
at: 0.010764028594577613
au: 0.001024896242690139
av: 0.003253267046237454
aw: 0.0010516278736503282
ax: 6.421103106932036e-05
ay: 0.0031336636664774323
az: 0.00010003692823246046
ba: 0.001006983294108569
bb: 0.00011023352973273881
bc: 2.7558382433184703e-06
bd: 3.251889127115795e-05
be: 0.00498944513952809
bf: 3.5825897163140114e-06
bg: 2.204670594654776e-06
bh: 3.7754983933463044e-05
bi: 0.0004954997161486609
bj: 7.523438404259424e-05
bk: 1.102335297327388e-06
bl: 0.0016322829915175298
bm: 1.7086197108574514e-05
bn: 9.921017675946493e-06
bo: 0.0014324847188769408
bp: 1.653502945991082e-06
bq: 0.0
br: 0.0013189441832522199
bs: 0.0001876725843699878
bt: 0.00014082333423357383
bu: 0.001621259638544256
bv: 1.3779191216592351e-06
bw: 1.1298936797605728e-05

bx: 1.3779191216592351e-06
by: 0.0009678503910534467
bz: 0.0
ca: 0.0021396328121124604
cb: 2.5629295662861772e-05
cc: 0.00022956132566842856
cd: 4.712483396074584e-05
ce: 0.004580754328043961
cf: 6.062844135300634e-06
cg: 2.7558382433184703e-06
ch: 0.004116671167869131
ci: 0.0007377378977363545
cj: 5.51167648663694e-07
ck: 0.0013646910980913065
cl: 0.0006024262399894175
cm: 8.543098554287257e-06
cn: 9.369850027282799e-06
co: 0.0038989599466469718
cp: 1.6535029459910822e-05
cq: 3.7754983933463044e-05
cr: 0.0007914767434810646
cs: 2.6180463311525467e-05
ct: 0.0010361951794877447
cu: 0.0006707710284237157
cv: 1.929086770322929e-06
cw: 1.9842035351892987e-05
cx: 1.102335297327388e-06
cy: 0.00017885390199136872
cz: 0.0
da: 0.0035638500162594455
db: 0.0012194584226684231
dc: 0.0006418347268688717
dd: 0.0008551366069017213
de: 0.005217077378426196
df: 0.001093241031124437
dg: 0.0005861667943538386
dh: 0.0022741177183864016
di: 0.0037606168668323846
dj: 4.4644579541759216e-05
dk: 0.0001705863872614133
dl: 0.001116941240016976
dm: 0.0014462639100935332
dn: 0.0013002044831976543
do: 0.004547133101475476
dp: 0.0005109324103112444
dq: 4.4920163366091065e-05
dr: 0.0012566622389532224
ds: 0.0035707396118677417
dt: 0.0031427579326803834
du: 0.0009215523085656964
dv: 0.0002314904124387515
dw: 0.0015548439368802808
dx: 5.621910016369679e-05
dy: 0.0013892180584568407

dz: 8.26751472995541e-07
ea: 0.012347533249188405
eb: 0.0021013266605303337
ec: 0.0032364564329532114
ed: 0.006577359135328193
ee: 0.006731410493129695
ef: 0.0029553609321347272
eg: 0.001462798939553444
eh: 0.004467489376243572
ei: 0.004505795527825699
ej: 0.00011574520621937575
ek: 0.0005106568264869125
el: 0.006199809295993563
em: 0.004730671928480486
en: 0.011970810161326772
eo: 0.004110883907558162
ep: 0.002369469721605221
eq: 0.00021660888592483176
er: 0.01733560046959484
es: 0.013002320415800874
et: 0.009624489480965425
eu: 0.0014255951232686446
ev: 0.001815546234698208
ew: 0.0036490054179779863
ex: 0.0006481731548285042
ey: 0.0028922522363627346
ez: 2.1495538297884068e-05
fa: 0.0026555257312616777
fb: 0.00016755496519376298
fc: 0.0001446815077742197
fd: 0.00017334222550473177
fe: 0.0021514829165587297
ff: 0.0010662338163399162
fg: 0.00011161144885439804
fh: 0.000727816880060408
fi: 0.0017033836181951465
fj: 2.0668786824888527e-05
fk: 2.948746920350763e-05
fl: 0.0007291947991820672
fm: 0.000549514145717703
fn: 0.000214404215330177
fo: 0.004560361125043404
fp: 0.00013806749599025537
fq: 1.0472185324610186e-05
fr: 0.0015449229192043344
fs: 0.00041695832621408454
ft: 0.002057233248637238
fu: 0.0008049803508733251
fv: 3.7754983933463044e-05
fw: 0.0002948746920350763
fx: 6.338427959632482e-06
fy: 0.0005191999250411998
fz: 1.653502945991082e-06
ga: 0.001543545000082675

gb: 0.00023507300215506552
gc: 0.00010995794590840696
gd: 0.00022763223889810564
ge: 0.0026505652224237046
gf: 0.00019676685057293876
gg: 0.00022239614623580054
gh: 0.0031780326621948596
gi: 0.0011651684092750492
gj: 9.369850027282799e-06
gk: 2.1495538297884068e-05
gl: 0.0006404568077472125
gm: 0.00025353711838529925
gn: 0.0004886101205403648
go: 0.0023330926567934167
gp: 9.838342528646938e-05
gq: 4.684925013641399e-06
gr: 0.001428350961511963
gs: 0.00082509797004955
gt: 0.0006600232592747736
gu: 0.0007096283476545061
gv: 2.0393203000556678e-05
gw: 0.0002471986904256668
gx: 1.3779191216592351e-05
gy: 0.00013531165774693688
gz: 2.75583824331847e-07
ha: 0.013161056698616018
hb: 0.0003607392260503877
hc: 0.00025215919926364
hd: 0.00037369166579398456
he: 0.023924809709369298
hf: 0.0003243621612385839
hg: 0.00013531165774693688
hh: 0.0008645064569290041
hi: 0.00960878120297851
hj: 1.5983861811247128e-05
hk: 4.2439908947104444e-05
hl: 0.000275583824331847
hm: 0.0006467952357068449
hn: 0.0004957752999729928
ho: 0.007155809582600739
hp: 0.0001997982726405891
hq: 1.2401272094933116e-05
hr: 0.0007878941537647506
hs: 0.0007810045581564544
ht: 0.003107483203165907
hu: 0.0009725353160670881
hv: 4.5471331014754756e-05
hw: 0.0004541621424988839
hx: 2.2873457419543302e-05
hy: 0.0022482128388992078
hz: 8.26751472995541e-07
ia: 0.000900607937916476
ib: 0.00024416726835801647
ic: 0.002527103669123037

id: 0.0020021164837708684
ie: 0.00290796051434965
if: 0.0013757144510645803
ig: 0.0020114863337981513
ih: 9.921017675946493e-06
ii: 5.236092662305093e-06
ij: 1.102335297327388e-06
ik: 0.0007415960712770003
il: 0.004258045669751368
im: 0.002790561805184283
in: 0.014544763080586222
io: 0.002150931748910066
ip: 0.00047483092932377243
iq: 2.1771122122215913e-05
ir: 0.0032863371051572755
is: 0.01001168475415167
it: 0.00831215930949717
iu: 0.00035136937602310494
iv: 0.0015948035914083987
iw: 6.062844135300634e-06
ix: 0.00011381611944905282
iy: 3.5825897163140114e-06
iz: 0.00010968236208407511
ja: 6.558895019097959e-05
jb: 0.0
jc: 0.0
jd: 0.0
je: 0.00029900844940005403
jf: 0.0
jg: 0.0
jh: 0.0
ji: 3.5825897163140114e-06
jj: 0.0
jk: 0.0
jl: 0.0
jm: 0.0
jn: 0.0
jo: 0.00021412863150584513
jp: 0.0
jq: 0.0
jr: 0.0
js: 0.0
jt: 0.0
ju: 0.0002631825522369139
jv: 0.0
jw: 0.0
jx: 0.0
jy: 0.0
jz: 0.0
ka: 0.00035109379219877313
kb: 7.247854579927576e-05
kc: 3.885731923079043e-05
kd: 0.00014385475630122413
ke: 0.0031140972149498714

kf: 0.00011106028120573435
kg: 2.0393203000556678e-05
kh: 0.0002915676861430941
ki: 0.0011852860284512741
kj: 1.102335297327388e-06
kk: 6.062844135300634e-06
kl: 0.00018023182111302796
km: 0.00013145348420629102
kn: 0.0011830813578566192
ko: 0.000380030093753617
kp: 4.4368995717427367e-05
kq: 3.307005891982164e-06
kr: 4.6298082487750296e-05
ks: 0.0007234075388710984
kt: 0.00041447807179509794
ku: 9.865900911080123e-05
kv: 6.8895956082961755e-06
kw: 0.00019015283878897444
kx: 7.991930905623564e-06
ky: 0.00022322289770879608
kz: 0.0
la: 0.00380030093753617
lb: 0.0007305727183037265
lc: 0.00044617021159326035
ld: 0.003545661483853544
le: 0.006328782525780867
lf: 0.001116665656192644
lg: 0.00022239614623580054
lh: 0.0007779731360888041
li: 0.004066239328016402
lj: 1.5432694162583433e-05
lk: 0.00033979485540116736
ll: 0.008853957108133581
lm: 0.0006671884387074017
ln: 0.0006010483208677583
lo: 0.0051236544619777
lp: 0.00043707594539030937
lq: 1.7912948581570057e-05
lr: 0.0002664895581288961
ls: 0.0016074804473276637
lt: 0.0018982213819977623
lu: 0.0006481731548285042
lv: 0.000284678090534798
lw: 0.00045691798074220234
lx: 4.1061989825445205e-05
ly: 0.0021280582914905226
lz: 1.102335297327388e-06
ma: 0.004752443050602702
mb: 0.0008187595420899175
mc: 9.314733262416429e-05
md: 0.00018491674612666935
me: 0.00795279800256844
mf: 0.00029432352438641264
mg: 8.32263149482178e-05

mh: 0.0004938462132026699
mi: 0.0021823483048838965
mj: 6.614011783964328e-06
mk: 2.8385133906180242e-05
ml: 0.00015046876808518848
mm: 0.000585340042880843
mn: 0.0003957383717405323
mo: 0.002980990227797589
mp: 0.0010463917809880232
mq: 6.338427959632482e-06
mr: 9.590317086748277e-05
ms: 0.000875529809902278
mt: 0.000734982059493036
mu: 0.0011056423032193702
mv: 1.8739700054565598e-05
mw: 0.0002562929566286177
mx: 2.3424625068206997e-05
my: 0.00352719736762331
mz: 2.75583824331847e-07
na: 0.0029231176246879015
nb: 0.0005690805972452641
nc: 0.0028961104099033803
nd: 0.013277904240132721
ne: 0.006191541781263607
nf: 0.0008438376701041156
ng: 0.006795345940374684
nh: 0.001810310142035903
ni: 0.002365335964240243
nj: 0.00012511505624665856
nk: 0.000945803685106899
nl: 0.000729470383006399
nm: 0.000985487755810685
nn: 0.0011196970782602945
no: 0.007972364454096003
np: 0.00037424283344264823
nq: 0.0001055486047190974
nr: 0.00044286320570127816
ns: 0.003502119239609112
nt: 0.008872696808188146
nu: 0.0005426245501094068
nv: 0.0002356241698037292
nw: 0.0008201374612115767
nx: 4.9329504555400615e-05
ny: 0.0013296919524011619
nz: 2.1495538297884068e-05
oa: 0.0012252456829793918
ob: 0.0013073696626302823
oc: 0.000989070345526999
od: 0.0025913147001923576
oe: 0.0008292317274145276
of: 0.005878202972998297
og: 0.0005406954633390839
oh: 0.001102335297327388
oi: 0.0009719841484184244

oj: 6.999829138028915e-05
ok: 0.0009190720541467098
ol: 0.002826112118523091
om: 0.0057291121240347674
on: 0.009207255570927008
oo: 0.004063207905948753
op: 0.00113843677831486
oq: 3.334564274415349e-05
or: 0.010923040461217089
os: 0.0031843710901544925
ot: 0.006982191773271676
ou: 0.016259445635578976
ov: 0.001698974277005837
ow: 0.005466205155622185
ox: 6.86203722586299e-05
oy: 0.0009356070836066206
oz: 4.16131574741089e-05
pa: 0.0018849933584298335
pb: 3.527472951447642e-05
pc: 2.866071773051209e-05
pd: 7.3856464920935e-05
pe: 0.002615841660557892
pf: 4.1061989825445205e-05
pg: 1.1574520621937574e-05
ph: 0.0004698704204857992
pi: 0.000992928519067645
pj: 1.3779191216592351e-06
pk: 9.645433851614646e-06
pl: 0.0012415051286149708
pm: 7.330529727227131e-05
pn: 6.91715399072936e-05
po: 0.0020134154205684743
pp: 0.000637700969503894
pq: 1.929086770322929e-06
pr: 0.002141837482707115
ps: 0.0003618415613477151
pt: 0.0006283311194766112
pu: 0.0006219926915169787
pv: 3.858173540645858e-06
pw: 7.3856464920935e-05
px: 7.165179432628023e-06
py: 0.0001664526298964356
pz: 0.0
qa: 0.0
qb: 0.0
qc: 0.0
qd: 0.0
qe: 0.0
qf: 0.0
qg: 0.0
qh: 0.0
qi: 0.0
qj: 0.0
qk: 0.0

ql: 0.0
qm: 0.0
qn: 0.0
qo: 0.0
qp: 0.0
qq: 0.0
qr: 0.0
qs: 0.0
qt: 0.0
qu: 0.0007771463846158085
qv: 0.0
qw: 0.0
qx: 0.0
qy: 0.0
qz: 0.0
ra: 0.00539813595101222
rb: 0.0009251348982820104
rc: 0.0013013068184949815
rd: 0.003656446181234946
re: 0.013605297823438955
rf: 0.0010706431575292256
rg: 0.0008769077290239373
rh: 0.001799562372886961
ri: 0.005114284611950417
rj: 6.421103106932036e-05
rk: 0.000646519651882513
rl: 0.0013398885539014401
rm: 0.0017122023005737654
rn: 0.0017918460258056694
ro: 0.006077174494165891
rp: 0.0008228932994548952
rq: 5.7597019285356025e-05
rr: 0.0016207084708955923
rs: 0.0048188587522666766
rt: 0.00545490621882458
ru: 0.0016460621827341223
rv: 0.0005980168988001081
rw: 0.0012076083182221537
rx: 5.3187678096046474e-05
ry: 0.0020710124398538306
rz: 1.3779191216592351e-06
sa: 0.005319594561077643
sb: 0.001342368808320427
sc: 0.00150248301025723
sd: 0.0011340274371255505
se: 0.008050630260206247
sf: 0.0012649297536831779
sg: 0.0005806551178672017
sh: 0.00683806143314612
si: 0.004479615064514174
sj: 5.263651044738278e-05
sk: 0.00035219612749610047
sl: 0.0013429199759690904
sm: 0.001583504654610793

sn: 0.0016322829915175298
so: 0.0058308025552132195
sp: 0.0021950251608031613
sq: 8.129722817789486e-05
sr: 0.0006054576620570679
ss: 0.00436276752299747
st: 0.011910181719973765
su: 0.0021481759106667473
sv: 0.00018849933584298337
sw: 0.0023430136744693633
sx: 6.365986342065666e-05
sy: 0.0007881697375890825
sz: 1.653502945991082e-06
ta: 0.005059167847084048
tb: 0.0011698533342886907
tc: 0.0011031620488003836
td: 0.0007713591243048397
te: 0.007486510171798956
tf: 0.001026825329460462
tg: 0.00039188019819988646
th: 0.03150942772263039
ti: 0.005648090479681205
tj: 4.5195747190422914e-05
tk: 0.00022487640065478717
tl: 0.0018486162936180298
tm: 0.0015636626192589
tn: 0.0013930762319974866
to: 0.009555317941058131
tp: 0.000578174863448215
tq: 3.9959654528117816e-05
tr: 0.0030482326809345597
ts: 0.0038325442449829964
tt: 0.004997712654258046
tu: 0.0018020426273059476
tv: 0.0001014148473541197
tw: 0.0022994714302249316
tx: 5.98016898800108e-05
ty: 0.0020668786824888526
tz: 1.1850104446269421e-05
ua: 0.0010488720354070097
ub: 0.0006145519282600188
uc: 0.0016342120782878529
ud: 0.0008168304553195946
ue: 0.001381501711375549
uf: 0.00037176257902366163
ug: 0.0013633131789696472
uh: 0.0005864423781781705
ui: 0.0007275412962360761
uj: 1.0196601500278339e-05
uk: 0.0003527472951447642
ul: 0.003044925675042578
um: 0.00110261088115172
un: 0.0033174780773067743
uo: 0.00033262967596853937

up: 0.0011433972871528332
uq: 5.787260310968787e-06
ur: 0.0068044402065776345
us: 0.0051107020222341025
ut: 0.004340169649402259
uu: 6.44866148936522e-05
uv: 2.5078128014198078e-05
uw: 0.00047455534549944057
ux: 2.948746920350763e-05
uy: 9.424966792149169e-05
uz: 9.369850027282799e-06
va: 0.0005208534279871909
vb: 0.0
vc: 0.0
vd: 0.00011298936797605728
ve: 0.007756306735819834
vf: 0.0
vg: 0.0
vh: 0.0
vi: 0.0013553212480640236
vj: 0.0
vk: 0.0
vl: 8.26751472995541e-07
vm: 0.0
vn: 3.858173540645858e-06
vo: 0.0004142024879707661
vp: 0.0
vq: 0.0
vr: 4.684925013641399e-06
vs: 2.2597873595211457e-05
vt: 0.0
vu: 1.4605942689587891e-05
vv: 0.0
vw: 0.0
vx: 0.0
vy: 0.00010224159882711524
vz: 0.0
wa: 0.0026574548180320007
wb: 0.00011905221211135791
wc: 9.342291644849614e-05
wd: 0.00019952268881625725
we: 0.0038036079434281525
wf: 0.00014385475630122413
wg: 5.8423770758351565e-05
wh: 0.0030553978603671877
wi: 0.005232785656413112
wj: 4.960508837973247e-06
wk: 2.2046705946547762e-05
wl: 0.0001951133476269477
wm: 0.00025601737280428585
wn: 0.0012059548152761625
wo: 0.0027971758169682472
wp: 5.180975897438724e-05
wq: 4.684925013641399e-06

wr: 0.0004274305115386947
ws: 0.0007358088109660315
wt: 0.0004908147911350196
wu: 5.9526106055678954e-05
wv: 9.094266202950952e-06
ww: 0.00018601908142399675
wx: 9.921017675946493e-06
wy: 0.00016700379754509928
wz: 0.0
xa: 7.440763256959869e-05
xb: 2.4802544189866234e-06
xc: 0.0001634212078287853
xd: 1.5983861811247128e-05
xe: 0.0004117222335517794
xf: 1.4881526513919739e-05
xg: 1.929086770322929e-06
xh: 1.6810613284242668e-05
xi: 0.0003298738377252209
xj: 5.51167648663694e-07
xk: 5.51167648663694e-07
xl: 3.5825897163140114e-06
xm: 8.267514729955411e-06
xn: 3.5825897163140114e-06
xo: 2.3975792716870692e-05
xp: 0.00011050911355707066
xq: 3.5825897163140114e-06
xr: 3.031422067650317e-06
xs: 5.5116764866369405e-06
xt: 0.0001882237520186515
xu: 7.991930905623564e-06
xv: 0.0
xw: 6.338427959632482e-06
xx: 8.26751472995541e-07
xy: 5.5116764866369405e-06
xz: 0.0
ya: 0.0014385475630122415
yb: 0.0008352945715498283
yc: 0.0006104181708950411
yd: 0.0006666372710587379
ye: 0.0015683475442725414
yf: 0.0008350189877254964
yg: 0.0004312886850793406
yh: 0.0015113016926358491
yi: 0.0008182083744412538
yj: 4.9605088379732464e-05
yk: 0.0001366895768685961
yl: 0.0012255212668037237
ym: 0.0009898970969999944
yn: 0.0006192368532736603
yo: 0.006849911537592389
yp: 0.0005688050134209323
yq: 2.590487948719362e-05
yr: 0.00044754813071491955
ys: 0.0022247882138310008

yt: 0.0018747967569295552
yu: 0.00024141143011469798
yv: 0.00013255581950361842
yw: 0.0009146627129574003
yx: 6.117960900167003e-05
yy: 0.0004447922924716011
yz: 5.236092662305093e-06
za: 5.180975897438724e-05
zb: 8.26751472995541e-07
zc: 8.26751472995541e-07
zd: 1.6810613284242668e-05
ze: 0.0001810585725860235
zf: 8.26751472995541e-07
zg: 5.51167648663694e-07
zh: 8.26751472995541e-07
zi: 1.7086197108574514e-05
zj: 0.0
zk: 0.0
zl: 9.921017675946493e-06
zm: 2.4802544189866234e-06
zn: 5.51167648663694e-07
zo: 2.2046705946547762e-05
zp: 1.3779191216592351e-06
zq: 0.0
zr: 5.51167648663694e-07
zs: 2.75583824331847e-07
zt: 2.204670594654776e-06
zu: 3.5825897163140114e-06
zv: 3.031422067650317e-06
zw: 2.7558382433184703e-06
zx: 0.0
zy: 9.369850027282799e-06
zz: 1.5157110338251586e-05

Entropy of relative pair frequency: 3.905710777813534
bits

dtarthentwotnhmeirhtineuebbehesaneintathyoyahctoeroriundl
etrhanthuetedcerlisdhbedithoaawndhnnndreinioorbehafehbfigf
enomndetyoerunmeiroteaoueewaratsnyelltttthenaveorndesmytty
eunybodobehtlelstntghewftlekn